Versuche

über den

Einfluss einiger Genussmittel auf das Vermögen des Auges, feine Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

Medicin, Chirurgie und Geburtshülfe

unter dem Präsidium

von

Dr. Theodor von Jürgensen

o. ö. Professor der Medicin, Vorstand der Poliklinik

der

medicinischen Fakultät in Tübingen

vorgelegt

von

Karl Degenkolb

aus Tübingen, approb. Arzt.

Berlin 1894.

Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke).

Linienstrasse 158.

Meinem hochverehrten Lehrer Herrn Professor Dr. Hüfner, mit dessen Beratung, Unterstützung und Anleitung ich diese Untersuchung ausführen und bearbeiten zu dürfen das Glück hatte, sage ich an dieser Stelle herzlichen Dank.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552309_0070

Einleitung.

In der Wissenschaft ist die Frage nach der Empfindlichkeit unseres Auges für Helligkeitsunterschiede des Lichtes zuerst von Physikern und Astronomen gestellt worden. Das Interesse dieser beiden war begreiflicherweise zunächst ein wesentlich praktisches. Von einem ganz eigenen, dem psychophysischen, Gesichtspunkte aus wurde die Frage von neuem aufgenommen, als man nach Fechner's Vorgang anfing, experimentell zu prüfen, ob und wie weit das Weber'sche Gesetz auch für den Gesichtssinn gültig sei.

Da nun unsere Empfindung des gewöhnlichen weissen Lichtes nicht durch einen einfachen Reiz, sondern durch einen zusammengesetzten (zusammengesetzt aus den Reizen, die von verschiedenen, gleichzeitig wirkenden, farbigen Strahlen ausgeübt werden) hervorgerufen wird, so galt es im besonderen, zu untersuchen, wie gross unser Vermögen, Intensitätsunterschiede wahrzunehmen, für die einzelnen Gattungen von farbigen Strahlen ist. Denn nur insoweit die verschieden grossen zum Vergleich kommenden Lichtmengen von gleicher Beschaffenheit sind, kann uns einmal der Helligkeitsunterschied einen Maassstab für den Unterschied der Lichtstärke abgeben, und ist umgekehrt aus unserem Verhalten gegenüber den jeweiligen Lichtmengen ein Rückschluss auf unsere Helligkeitsempfindungen gestattet.

1. Frühere Untersuchungen über Helligkeitsempfindlichkeit im allgemeinen.

Solche Untersuchungen sind mehrfach am Spektralapparat ausgeführt worden, welcher zu dem Ende mit verschiedenen Vorrichtungen verbunden ward. Von älteren derartigen Arbeiten seien die von Lamansky, Dobrowolsky und Korniloff erwähnt.

Lamansky[1]) verglich die Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede im Rot mit der im Gelb, Grün und Blau. Im Gelb und Grün, den hellsten Gegenden des Spektrums, nahm er noch einen Unterschied der Lichtstärke von 1/286 wahr, im Blau 1/212, im Rot nur 1/70, da indes der lichtgebende Spalt seines Spektralapparates 0,12—1,2 mm breit war, so erhielt er ein unreines Spektrum, dessen Teile bei verschiedener Lichtstärke einen verschiedenen Farbenton annehmen können[2]). Seine Zahlen dürften so vielleicht die Helligkeitsempfindlichkeit, vermehrt um die Farbenempfindlichkeit darstellen, welche letztere im Blau (um F) am grössten, im Rot am geringsten ist.

Dobrowolsky[3]) prüfte die Unterschiedsempfindlichkeit in verschiedenen Farben und bei verschiedenen Lichtstärken, indem er das Auftauchen und Verschwinden von Interferenzstreifen in den verschiedenen Gegenden des Spektrums beim Hin- und Herdrehen einer zwischen 2 Nikols vor den Apparat gesetzten Gipsplatte beobachtete. Bei einfachem, ungeschwächtem Heliostatenlicht war seine Unterschiedsempfindlichkeit im Rot

[1]) Gräfe's Archiv für Ophthalm. Bd. 17, I, 1871, S. 123.

[2]) Vgl. Bohn, Poggendorff's Annalen, Ergänzungsband 6, 1874, S. 399.

[3]) Pflüger's Archiv Bd. 24, 1881, S. 189 ff.; vgl. Bd. 12, 1876, S. 441 ff., desgl. Gräfe's Archiv für Ophthalm. Bd. 18, I, 1872, S. 74 ff.

= 1/19,5, d. h. er konnte bei einem Unterschied der Lichtstärke von 1/19,5 zwischen den Interferenzstreifen und ihrer Umgebung dieselben noch wahrnehmen. Im Blau gelang ihm das nur bei einem solchen von 1/10—1/5. Verstärkte er nun das Heliostatenlicht durch starke Konvexlinsen, so stieg die Unterschiedsempfindlichkeit im Blau bis auf 1/268, während sie im Rot unverändert blieb. Umgekehrt war für Gelb und Grün schon das einfache Heliostatenlicht zu hell; hier musste das Spektrum abgeschwächt werden, um die Beleuchtung der feinsten Unterschiedsempfindlichkeit zu erzielen; dadurch stieg die Unterschiedsempfindlichkeit im Grün auf 1/58,5, indes sie im Rot sank.

Korniloff[4]) bestimmte seine Unterschiedsempfindlichkeit in verschiedenen Gegenden des Petroleumflammenspektrums, indem er am Vierordt'schen Spektrophotometer[5]) die eine, veränderliche Hälfte des lichtgebenden Spaltes gegen die andere, unveränderliche um so viel verengerte oder erweiterte, dass das obere und untere Spektrum die gleiche Helligkeit zeigten; indem er die Grösse der Schwankung (s. h.), welche zahlreiche gleichartige Einzelbestimmungen derart zeigten, ausmaass, so ermittelte er, dass der, ungenügender Helligkeitsempfindlichkeit zugeschriebene mittlere Fehler seiner Bestimmungen im Rot ca. 1,5 % der gegebenen Lichtstärke betrug und nach dem Blau zu ständig, bis auf etwa 0,3 %, sank.

Von neueren Untersuchern führe ich an zunächst Macé de Lépinay und W. Nicati[6]). Diese unter-

---

[4]) Zeitschrift für Biologie Bd. 12, 1876, S. 516 ff.

[5]) Karl Vierordt, Die Anwendung des Spektralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. 1871.

[6]) Annales de Chimie et de Phys. 5e. série t. 24, 1881, p. 289. und t. 30, 1883, p. 145. cit. nach E. Brodhun, Beiträge zur Farbenlehre. Dissertation. Berlin 1887.

suchten das Purkinje'sche Phänomen, und im Anschluss daran die Empfindlichkeit für Unterschiede der Helligkeit an einem Schattenphotometer, wobei ein 1 mm dickes, 2—8 mm langes Stäbchen einerseits mit spektralem, andererseits (durch ein gelbgrünes Glas) mit Lampenlicht beleuchtet ward, und fanden, dass die Unterschiedsempfindlichkeit von Rot bis Grün ($\lambda = 517\ \mu\mu$) gleich war, von da nach dem Violett hin immer geringer wurde.

Von grösserem Gewicht als alle bisher genannten Arbeiten scheint mir die Untersuchung von König und Brodhun[7]) zu sein. In ihrer Versuchsanordnung sind die umfassendsten Vorkehrungen dafür getroffen, dass die zahlreichen Nebenumstände, welche dem Urteil des auf einen Helligkeitsunterschied merkenden Beobachters bald diese, bald jene Richtung geben, es fälschen und trüben können, ebensowohl wie die der Helligkeitsempfindung ungünstigen Aussenbedingungen ausgeschlossen oder unschädlich gemacht sind. Sie beobachteten 2 grosse, breit aneinanderstossende, nur durch den Helligkeitsunterschied von einander getrennte Felder, welche aus einem 30 cm langen Spektrum ausgeschnitten waren, und verdunkelten das obere eben merklich gegen das untere. Um die in verschiedenen Gegenden des Spektrums erhaltenen Zahlenwerte, welche die Helligkeitsempfindlichkeit ausdrücken, mit einander vergleichen zu können, nahmen sie ihre Zuflucht zu einer gemeinsamen Helligkeitseinheit, auf welche sie in hier nicht näher zu beschreibender Weise[8]) die Helligkeiten der verschiedenen Spektralgegenden bezogen*).

*) Eine sichere Methode, die thatsächliche Lichtstärke, d. h. die lebendige Kraft, den Wärmewert der

[7]) Sitzungsberichte der Akademie zu Berlin, 26. Juli 1888.

[8]) Vgl. E. Brodhun, Beiträge zur Farbenlehre. Dissertation. Berlin 1887, S. 29 ff.

Sie fanden so die ebenmerklichen Unterschiede der Lichtstärke in allen Farben ziemlich gleichmässig gleich etwa 1/50 der ganzen Lichtstärke (näheres über zahlenmässige Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit siehe hinten), und zwar blieb in einem Gebiete von 2000—20000 Helligkeitseinheiten dieser ebenmerkliche verhältnismässige Unterschied ganz und in einem Gebiete von 500—50000 Helligkeitseinheiten annähernd von derselben Grösse. Sank die Helligkeit noch weiter, so verschlechterte sich die Unterschiedsempfindlichkeit mehr und mehr, und zwar für die roten, orangefarbenen etc. Strahlen viel mehr als für die blauen und violetten. Zum Maassstabe diene dabei, dass Helmholtz in seinem Versuch einer Theorie über das Eigenlicht der Netzhaut keinen Anstoss daran nimmt, dass dieselbe die Stärke des Eigenlichtes gleich 50 ebensolcher Helligkeitseinheiten setzt[9]).

2. Beobachtungen über besondere Einflüsse, denen die Helligkeitsempfindlichkeit unterliegt.

Aus allen diesen am Spektralapparate ausgeführten Untersuchungen über die Empfindlichkeit für feine Helligkeitsunterschiede geht hervor, dass, neben der verschiedenen Anlage der einzelnen Beobachter, verschiedene äussere Umstände auf die Ergebnisse solcher Versuche den grössten Einfluss ausüben können; insbesondere ist soviel mit Sicherheit und als allgemeingültig festgestellt, 1. dass die Unterschiedsempfindlichkeit auch des

---

Ätherschwingungen zu messen, giebt es noch nicht; die bolometrischen Methoden werden von Sachkundigen nicht für einwandsfrei gehalten.

[9]) Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 1, 1890, S. 14, vgl. bezüglich der Helligkeitsvergleichungen E. Brodhun, a. a. O.

gleichen Auges für die verschiedenen Farbentöne Verschiedenheiten aufweist, 2. dass feine Lichtunterschiede weniger leicht wahrgenommen werden, wenn die absoluten Grössen der verglichenen Lichtmengen unter einen gewissen Wert gesunken sind.

Vereinzelte Beobachtungen, die hin und wieder mitgeteilt wurden, machten es aber ferner wahrscheinlich, dass nicht die genannten Bedingungen allein, sondern auch wechselnde körperliche Zustände — ganz abgesehen von der Ermüdung oder von Erkrankungen des Auges und von seiner Anpassung an die herrschende Beleuchtung — das in Rede stehende Vermögen beeinflussen können. So giebt Kunkel[10]) in einer Abhandlung: „Über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Zeit“ — an, dass vormittags seine photometrischen Bestimmungen stets unsicher geworden seien. Wiskemann[11]) erwähnt in einer Arbeit über Hämoglobinbestimmungen am Vierordt'schen Spektrophotometer des Einflusses von Störungen des Allgemeinbefindens auf seine Beobachtungen.

Was die Einwirkung von Arznei- und Genussmitteln betrifft, so hatte Hüfner[12]) bereits im Jahre 1867, als er im Santonrausche Versuche mit Masson'schen Scheiben anstellte, den Eindruck gewonnen, als habe die Unterschiedsempfindlichkeit, zunächst für weisses Licht, erheblich abgenommen (von 2/230 binnen 35 Minuten nach dem Santoningenuss auf 2/190 für mehrere Stunden). Eine weitere hierher gehörige Beobachtung machte Kräpelin[13]). In einer an Masson'schen Scheiben ausgeführten Reihe von Versuchen über

[10]) Pflüger's Archiv Bd. 9, 1874, S. 197.

[11]) Zeitschrift für Biologie Bd. 12, 1876, S. 438.

[12]) Archiv für Ophthalmologie von Arlt, Donders, A. von Gräfe, Bd. 13, S. 309 ff.

[13]) Wundt's Philosophische Studien Bd. 2, S. 306 ff.

die Unterschiedsempfindlichkeit für weisses Licht verschiedener Stärke prüfte er auch den Einfluss, den Atropinisierung des Auges auf die Unterschiedsempfindlichkeit hat. Er fand, dass die Leistungen des Auges in einer Hinsicht schlechter, in der andern aber eher besser wurden, so dass im Mittel für die Unterschiedsempfindlichkeit dieselbe Grösse wie vorher herauskam. Im vergangenen Jahre ward schliesslich von Dreser[14]) die Beeinflussung des Lichtsinnes durch Strychnin am Spektralapparate geprüft, und es zeigte sich, dass Einspritzung von 2,5—4 mg Strychninnitrat unter die Haut der Schläfengegend in allen Farben eine merkliche Verfeinerung der Helligkeitsempfindlichkeit zur Folge hatte, besonders für die schwachen Lichtreize.

3. Eigener Versuchsplan.

Bei dem ausgedehnten Gebrauche, der von unserer Fähigkeit, feine Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen, seit Vierordt's[15]) bahnbrechendem Vorgange zu Zwecken der quantitativen chemischen Analyse gemacht wird, erschien es mir als eine sehr zeitgemässe und nützliche Aufgabe, nicht allein die von Dreser beschriebene Wirkung an meinem Auge zu erproben, sondern selber noch weiter zu prüfen, ob nicht auch der Genuss von Kaffee und Thee, ferner derjenige unserer gewöhnlichen alkoholischen Genussmittel (Wein, Bier) auf dieselbe von irgend welchem förderlichen oder schädlichen Einflusse sei.

Ich habe mich dieser Aufgabe um so lieber unter-

[14]) Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie, Bd 33, S. 251 ff.

[15]) Karl Vierordt, Die Anwendung des Spektralapparates zur Photometrie der Absorptionsspektren und zur quantitativen chemischen Analyse. 1873.

zogen, als ich ebenso wie Dreser Gelegenheit hatte, die erforderlichen Versuche im physiologisch-chemischen Institute zu Tübingen mit Hülfe des von Hüfner angegebenen Spektrophotometers auszuführen. Dieses wie jedes andere derartige Instrument gestattet nämlich, das etwaige Eintreten oder Ausbleiben der fraglichen Wirkungen durch vergleichende Beobachtungen alsbald festzustellen, zugleich aber auch die Grösse des etwaigen Einflusses durch Messung zu bestimmen.

4. Grundsätze der Photometrie.

Alle unsere photometrischen Verfahren laufen auf den Vergleich zweier unmittelbar nebeneinander auf das Auge wirkender ungleicher Lichtmengen hinaus, und beruhen darauf, dass man die grössere derselben so lange in genau messbarer Weise abschwächt bezw. verstärkt, z. B. dass man von zwei unmittelbar an einander stossenden beleuchteten Feldern das hellere so lange in genau messbarer Weise verdunkelt, bis beide Lichtmengen unserem Auge gleich gross, beide beleuchtete Felder also gleich hell erscheinen.

Die sogenannten Spektrophotometer, Instrumente, bei denen die photometrische Vorrichtung mit einem gewöhnlichen Spektralapparat verbunden ist, gestatten eine solche messende Vergleichung in je einem Gebiete von gleicher einfacher Farbe.

5. Die hier verwandte photometrische Vorrichtung. Das Hüfner'sche Spektrophotometer und seine Verwendung zu photometrischen Messungen.

Wir wollen uns nun den Bau des Hüfner'schen Spektrophotometers[16]) vergegenwärtigen, indem wir in

[16]) Vgl. das Nähere in „Anleitung zum Gebrauche des Hüfner'schen Spektrophotometers". Tübingen. Pietzker's Verlag. 1892. —

Gedanken den Lichtstrahlen auf ihrem Wege von der Lichtquelle bis zum Auge des Beobachters folgen. Die Lichtquelle bildet ein heller Petroleumrundbrenner, welcher mit dem Photometer durch eine eiserne optische Bank fest verbunden ist. Sein Cylinder ist umhüllt von einem geschwärzten Thonmantel; dieser öffnet sich einerseits in ein metallenes Ansatzrohr mit einer um ihre Brennweite von der Flamme abstehenden grossen Sammellinse, andererseits mit einem senkrechten, durch eine Klappe verschliessbaren Schlitz, an dessen Rändern, zu genauer Überwachung der Flammenhöhe, eine Teilung eingegraben ist. Durch die Linse parallel gemacht treten die Lichtstrahlen zum Photometer.

Hier finden von ihnen nur 2 mit einem Zwischenraum von etwa 3 mm übereinanderstehende Strahlenbündel den Weg frei. Das untere geht durch einen Nikol und wird so geradlinig polarisiert und zugleich geschwächt. Das obere geht, zu gleicher Abschwächung, durch eine planparallele Glasplatte, welche aus 2 keilförmigen Glasstücken, einem farblosen und einem hellen Rauchglase, zusammengekittet ist, und sich entlang einer versilberten Skala quer vor- und zurückschieben lässt. Nun treten beide Strahlenbündel durch den Albrecht'schen Glaskörper (vgl. die angeführten Stellen), wodurch das obere zum unteren, das untere zum oberen gemacht und zugleich der Zwischenraum in der Mitte zwischen ihnen zu einer ganz feinen schwarzen Trennungslinie vermindert wird. Unmittelbar an den Albrecht'schen Glaskörper stösst der Kollimatorspalt des Spektralapparates, welcher bei meinen Versuchen nur 1/40 mm breit war. Das durchgelassene Licht trifft auf ein Prisma und wird zerstreut. Es entsteht ein dop-

G. Hüfner, Zeitschrift für physikalische Chemie, Bd. 3, 1889, S. 562 ff. — Ferner G. Hüfner, Kolbe's Journal für praktische Chemie, Bd. 16, 1877, S. 290 ff.

peltes Spektrum, dem oberen (anfangs unteren) polarisierten Strahlenbündel und dem unteren (anfangs oberen) Strahlenbündel aus gewöhnlichem Lichte entsprechend. Beide Spektra sind getrennt durch die feine schwarze Horizontallinie.

Ehe nun das spektral zerlegte Licht durch das Fernrohr zum Auge des Beobachters gelangt, wird es durch einen zweiten Nikol geschickt. Auf das gewöhnliche Licht wirkt der Nikol nur insofern ein, als er es auch geradlinig polarisiert; das schon polarisierte Licht dagegen schwächt er und zwar in verschiedenem Grade, je nach der Grösse des Winkels, welchen sein Hauptschnitt mit der Polarisationsebene der Lichtstrahlen, oder was auf's gleiche hinausläuft, mit dem Hauptschnitte des ersten Nikols (s. o.) bildet. Ist der Winkel zwischen beiden Hauptschnitten der Nikols gleich 0^0, so schwächt der zweite Nikol auch das polarisierte Licht gar nicht. Ist derselbe gleich 90^0, so löscht der zweite Nikol das polarisiert ankommende Licht vollständig aus. In allen Zwischenlagen wird ein grösserer oder kleinerer Bruchteil desselben durchgelassen, und es bestimmt sich die Grösse dieses Bruchteils nach dem sogenannten Kosinusquadratgesetze wie folgt:

Sei J die Stärke des ankommenden Lichtes, J_1 die des durchgelassenen Anteils, φ der Winkel, den die Hauptebenen beider Nikols mit einander bilden, wobei Parallelstellung der Hauptschnitte dem Winkel $= 0^0$ entspricht, so ist:

$$J_1 = J \,.\, \cos^2\varphi,$$

beträgt z. B. der Winkel 60^0, so ist:

$$J_1 = J \,.\, \cos^2 60^0 = 0{,}25 = 1/4\, J,$$

oder, $J = 1$ gesetzt: $J_1 = 1/4$.

Was von dem Nikol an Licht durchgelassen wird, tritt jetzt in das Beobachtungsfernrohr. In der Ebene

des Bildes, das hier von den beiden übereinanderstehenden Spektren entworfen wird, steht eine Blendung mit 2 parallelen, mit Mikrometerschrauben stellbaren Schneiden, mittels deren das Spektrum bis auf beliebige Ausschnitte abgeblendet werden kann. Das Auge erblickt so durchs Okular einen von einer schwarzen feinen Horizontallinie geteilten senkrechten Streifen, dessen untere durch den zweiten Nikol veränderte Hälfte (durch das Fernrohr ist das ursprünglich untere, dann nach oben geworfene Strahlenbündel wieder nach unten gelenkt), abgesehen von der Nullstellung des drehbaren zweiten Nikols, dunkler ist als die obere. Der Streifen war 5 mm hoch, $^1/_4$ mm breit. Der Abstand der Blenden-Ebene von der Hornhaut des Auges betrug etwa 39,5 mm. Die scheinbare Grösse des Bildes war etwa 2,0 : 40,0 mm.

Zur Beobachtung ward fast ausschliesslich das linke Auge verwendet, welches bei fast normaler Sehschärfe seinen Fernpunkt in 10 cm, zugleich einen Astigmatismus von 1,75 Dioptrien mit schiefer Axe besitzt. Zur Ausgleichung befestigte ich vor dem Okular ein Brillenglas von ⊨ 6,0 sph. ⌓ Cyl. ⊨ 1,75 ∠ 25°, wobei dann der Fernpunkt in 25 cm lag. Der Brechungsfehler des Auges hatte zur Folge, dass schon geringe, namentlich schiefe Neigung des Kopfes (auch bei Beobachtung ohne Brillenglas) mir das Helligkeitsverhältnis von oberer und unterer Spalthälfte, mitunter selbst in ziemlich übermerklichem Grade änderte, ohne alsbald auch die Schärfe des Bildes augenfällig zu beeinträchtigen. Im einzelnen verhielten sich beide Augen bezüglich des Zusammenhangs zwischen Helligkeitsänderung und Kopfneigung symmetrisch, was wohl auf meinen in beiden symmetrisch gegen die Senkrechte gelegenen Astigmatismus hindeutet. Ein sehr geübter hyperopisch-presbyopischer Beobachter konnte selbst bei den stärksten Kopfneigungen keine Änderung des Helligkeitsverhältnisses von oben und

unten wahrnehmen. Durch ein im physikalischen Institut angefertigtes, aus Stirn- und Kinnband bestehendes, meinem Kopfe sorgfältig angepasstes Eisengestell half ich dem Übelstande so ziemlich, wenn auch nicht ganz vollständig ab.

Die Spektralgegenden wurden durch Verschiebung des Fernrohres entsprechend einer Kreisteilung, für welche Herr Professor Hüfner eine Tafel der zugehörigen Wellenlängen entworfen hat, eingestellt. Ich verwandte bloss die Gegenden $\lambda\,657 - \lambda\,640{,}5$ und $\lambda\,562 - \lambda\,552$, von welchen die eine der Urfarbe Rot, die andere der Urfarbe Grün im Tone nahe liegt[17]). Bei der gewählten Blendungsbreite war zwischen rechtem und linkem Spaltrand eine Änderung des Farbentons nicht merklich, und das Spektrum war dank der Verschmälerung des lichtgebenden Spaltes ($^1/_{40}$ mm) so rein, dass selbst bei den grössten Helligkeitsunterschieden von oberer und unterer Streifenhälfte die Farbe in ihrem Tone nicht verändert erschien.

Zur Verdunklung der einen Spalthälfte dienten Chromalaunlösungen verschiedener Stärke, welche jedesmal in den Behälter filtriert wurden. Ein möglicher störender Einfluss, der durch die allmähliche Erwärmung der Lösungen bedingt werden konnte, wurde dadurch vermieden, dass ich mit den Beobachtungen erst begann, wenn die Lösung etwa 40 Min. bereits vor der Lampe gestanden hatte, denn erst etwa nach dieser Zeit war es soweit gekommen, dass die Erwärmung durch die Lampenflamme und der Wärmeverlust an die Zimmerluft sich die Wage hielten, so dass die Temperatur der Lösung gleichmässig auf ihrer Höhe von etwas über 20^0 blieb*).

*) Der Behälter war ein sogenanntes Absorptionskästchen (vgl. die „Anleitung zum Gebrauche des

[17]) H. v. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik, II. Aufl. § 21.

Die Lichtstärken, bei welchen ich untersuchte, entsprachen den Drehungswinkeln, oder wenn wir für „Drehungswinkel“ den Ausdruck „Breite“ setzen, wobei eine höhere Breite einem Drehungswinkel grösserer Ordnung entsprechen soll und umgekehrt, den Breiten von 66,5° und von 44°, von welchen die erstgenannte bei Bestimmung der Absorptionsverhältnisse von Lösungen

---

Hüfner'schen Spektrophotometers“) von 11 mm lichter Weite, in dessen unterer Hälfte ein Schulz'scher Glaswürfel von 10 mm Dicke stand, so dass die Schicht lichtschwächender Lösung unten 1 mm, oben 11 mm dick war. Wurde durch Drehung des zweiten Nikols der untere hellere Abschnitt des aus dem doppelten Spektrum geschnittenen Streifens gleich hell mit dem oberen gemacht, so ergab (vgl. o.) sich die unten vorhandene Lichtstärke

$$J_1 = J \cdot \cos^2 \varphi,$$

wobei J die Lichtstärke nach dem Durchtritt durch eine 1 mm dicke Schicht der Lösung bezeichnet. Setzen wir nun die Stärke des von der Lampe kommenden Lichtes gleich 1, wie berechnen wir die Grösse von J, wenn wir z. B. haben: $J_1 = J \cdot \cos^2 70^0 = 0{,}1170 \cdot J$? Dies geschieht nach dem Gesetze, welches die Abhängigkeit der Schwächung des Lichtes von der Dicke der durchlaufenen lichtschwächenden Schicht ausdrückt[18]). Sei $1/n$ der Bruchteil des Lichtes, der nach dem Durchlaufen einer lichtschwächenden Schicht, die wir hier als 1 mm dick annehmen, noch übrig ist, so ist die nach dem Durchlaufen von m ebensolchen Schichten übrigbleibende Lichtstärke:

$$J_1 = \frac{J}{n^m}$$

(J die ursprüngliche, J_1 die übrigbleibende Lichtstärke).

[18]) Vgl. G. Hüfner und E. Albrecht, Über die Durchlässigkeit des Wassers für Licht von verschiedener Wellenlänge. Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge. Bd. 42. 1891. S. 12 ff.

bevorzugt zu werden pflegt, die zweite aber thatsächlich der Breite der besten Unterschiedsempfindlichkeit entspricht[19]). Berechne ich die verhältnismässige Gesammthelligkeit des Spaltes, je nachdem im Rot oder Grün untersucht ward, so ergiebt sich auf Grund der von Vierordt ausgeführten Bestimmungen der Gesammthelligkeiten, welche das Spektrum der Petroleumflamme in verschiedenen Gegenden besitzt, dass, insbesondere mit

---

Nun wissen wir, dass das Licht der unteren Streifenhälfte in unserem Beispiel durch eine 1 mm dicke Schicht Lösung gegangen ist, das Licht der oberen durch eine 11 mm dicke Schicht, dass also das obere Licht, ausser der gemeinsamen einen lichtschwächenden Schicht, noch 10 weitere ebensolche Schichten hat durchlaufen müssen und dadurch nur noch die Stärke von 0,1170 J (die Lichtstärke des unteren Lichtes = J — s. o.) hat. Somit haben wir die Gleichungen:

1) $$J_1 = 0{,}1170\ J,$$

2) $$J_1 = \frac{J}{n^{10}},$$

also

3) $$0{,}1170 = \frac{1}{n^{10}}$$

4) $$0{,}8069 = \frac{1}{n}$$

Folglich ist das Licht der unteren Streifenhälfte selbst nur gleich 0,8069 oder gleich 80,69 % des von der Lampe kommenden Lichtes. Und es beträgt die Lichtstärke der oberen Streifenhälfte:

$$0{,}8069 \,.\, 0{,}1170$$

oder 9,44 % des von der Lampe kommenden Lichtes.

[19]) Vgl. Dreser a. a. o.; C. von Noorden, Beiträge zur quantitativen Spektralanalyse, Zeitschr. für physiol. Chemie. Bd. 4, 1880.

Rücksicht auf 2 kleine durch den Rauchglaskeil (s. o.) bedingte Korrektionen, das Rot nur unbedeutend weniger hell war als das Grün[20]).

6. Die Genauigkeit der photometrischen Messungen ein Maassstab für die Feinheit unserer Helligkeitsempfindung.

Auf diese Weise ist für uns das Spektrophotometer ein physikalisches Hülfsmittel zur messenden Vergleichung der wirklichen Lichtstärke zweier heller Felder. Wir gehen dabei von der Voraussetzung aus, dass, falls nur die hellen Felder in allen anderen Beziehungen sich gleich verhalten, unsere Empfindung gleicher Helligkeit derselben ein sicheres Zeichen davon ist, dass beide Felder in Wirklichkeit die gleiche Lichtstärke haben[21]). Thatsächlich aber sehen wir, dass unsere Empfindung uns dies nur in unvollkommener Weise zu leisten imstande ist. Denn haben wir das eine Mal, z. B. bei Bestimmung der lichtschwächenden Kraft eines Rauchglases, den zweiten Nikol um 28,5° gedreht, um das untere Feld dem oberen gleich dunkel zu machen, so finden wir bei einer zweiten Einzelbestimmung vielleicht 30,8°, bei einer dritten wieder 29° Drehungswinkel u. s. f. Nehmen wir nun das arithmetische Mittel aus etwa 20 solchen Einzelbestimmungen, so ergiebt sich vielleicht ein Winkel von 30°, von dem wir annehmen dürfen, dass er mit einer ausserordentlich grossen Annäherung dem idealen Punkte gleicher Helligkeit entspricht. Wir sehen also, dass unser Urteil

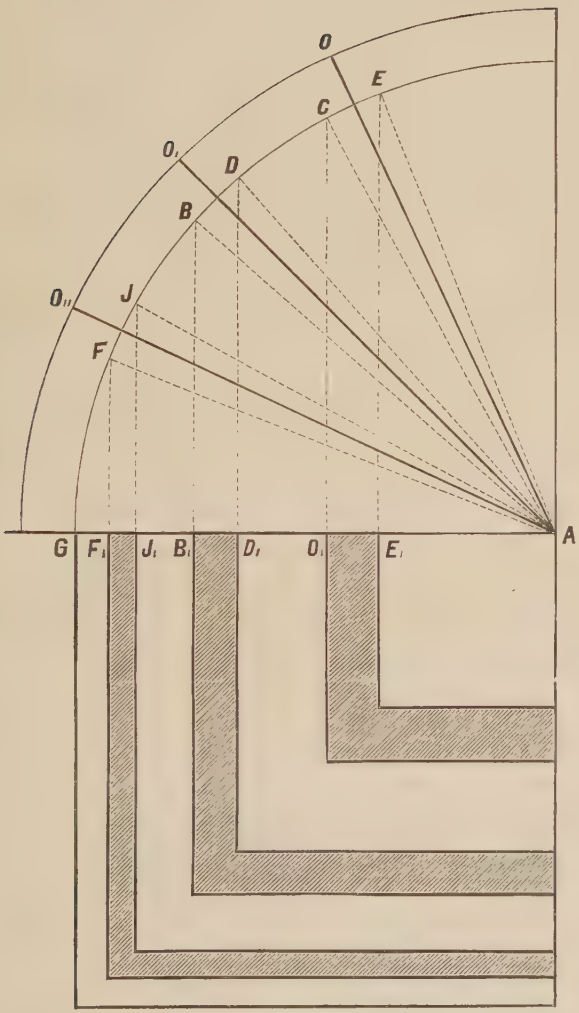
[20]) Vgl. Karl Vierordt, Die Anwendung des Spektralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. 1871. §15.

Derselbe. Die Anwendung des Spektralapparates zur Photometrie der Absorptionsspektren und zur quantitativen chemischen Analyse. 1873. § 5. § 8.

[21]) Vgl. H. von Helmholtz, Vorträge und Reden, III. Aufl. 1884. Bd. 2, S. 226 (Die Thatsachen in der Wahrnehmung).

über gleiche oder ungleiche Helligkeit innerhalb eines gewissen Spielraumes hin und her schwanken kann. Um die Grösse dieses Spielraumes kennen zu lernen, drehen wir, in dem eben angeführten Fall z. B., den Nikol so lange, bis das anfangs zu helle untere Feld keinen wahrnehmbaren Unterschied gegen das obere mehr zeigt, drehen dann weiter, bis, durch zu starke Drehung des Nikols, das untere Feld eben anfängt eine Spur dunkler zu erscheinen, und finden, wir haben dazu über 30° hinaus bis 31,85° drehen müssen. Nun drehen wir umgekehrt zurück: aber den Punkt, wo das untere Feld eben merklich heller erscheint, finden wir erst bei 28° erreicht. Die zwischen 28,1° und 31,8° gelegenen Helligkeitsuntersehiede können nicht mehr wahrgenommen werden.

Eine Zeichnung möge das Gesagte veranschaulichen. Wir haben nacheinander das Lichtschwächungsvermögen eines starken (O), eines mittelstarken ($O_,$) und eines schwachen Rauchglases ($O_{,,}$) zu bestimmen. Den idealen Punkt gleicher Helligkeit finden wir aus zahlreichen Einzelbestimmungen im ersten Falle bei einem Drehungswinkel des Nikols von 65°, im zweiten bei einem von 45°, im dritten bei 25°. Nun untersuchen wir die Grösse bezw. die Grenzen des Spielraums unmerklicher Helligkeitsabstufungen in den 3 Fällen. Zunächst nehmen wir das mittelstarke Rauchglas vor. Dem idealen Gleichheitspunkt entspreche der Winkel G A $O_{,,}$, dem Punkt, wo das untere Feld eben merklich heller ist, der etwas kleinere Winkel G A B, dem Punkt, wo das untere Feld dunkler zu erscheinen beginnt, der Winkel G A D. Ohne Erholungspause für das Auge machen wir uns an die Untersuchung des starken Rauchglases; wir finden, entsprechend $O_,$; B; D, hier die Punkte O; C; E, und zwar den Kreisbogen C E ebensogross wie den Kreisbogen B D. Nach einem


O
E
C
O,
D
B
O,,
J
F
G
F,
J,
B,
D,
O,
E,
A

längeren Spaziergange gehen wir mit dem Gefühl entschieden gesteigerter Empfindungsschärfe an die Prüfung des schwachen Rauchglases. Wir bestimmen die Punkte $O_{,,}$; F; J. Wiederum stellt sich der Kreisbogen $FJ = BD = CE$ heraus. Wie nun? Sollte nicht, wenn wir ermüdet sind, der Spielraum von Helligkeitsunterschieden, die uns unmerklich sind, ein grösserer, sollte nicht bei gesteigerter Empfindlichkeit unseres Auges eben dieser Spielraum ein viel kleinerer sein? Der Widerspruch löst sich, sowie wir durch Projektion von C, E; B, D; F, J auf AG die Kosinus der betreffenden Drehungswinkel darstellen. Wir erhalten der Reihe nach die Strecken $AC_{,}$; $AE_{,}$; $AB_{,}$; $AD_{,}$; $AF_{,}$; $AJ_{,}$. Bilden wir unter diesen der Reihe nach die Quadrate: $AC_{,}^2$; $AE_{,}^2$; $AB_{,}^2$; $AD_{,}^2$; $AF_{,}^2$; $AJ_{,}^2$; welche sich untereinander nun verhalten wie $\cos^2 CAG : \cos^2 EAG$; $\cos^2 BAG : \cos^2 DAG$; $\cos^2 FAG : \cos^2 JAG$; — oder mit andern Worten, wie die entsprechenden Lichtstärken, wenn die Lichtstärke $AG^2 = 1$ gesetzt wird, so zeigt sich C, A^2 fast gleich $2\,E, A^2$. D, A^2 ist im Verhältnis zu B, A^2 schon viel weniger unbedeutend. Endlich zwischen F, A^2 und J, A^2 ist der verhältnismässige Unterschied ganz gering. Vergleichen wir dann noch auf der Zeichnung die Differenzen $AC_{,}^2 - AE_{,}^2$; $AB_{,}^2 - AD_{,}^2$, $AF_{,}^2 - AJ_{,}^2$, so sehen wir: das Flächenstück $AB_{,}^2 - AD_{,}^2$ (schraffiert) ist am grössten, die beiden anderen sind kleiner. Das Ergebnis fassen wir in den Satz zusammen: Gleiche Winkelausschläge des Nikol bedeuten einen um so grösseren verhältnismässigen Unterschied der Lichtstärke, je grösser der Drehungswinkel des Nikol schon vorher war, den grössten absoluten Unterschied in der Lichtstärke macht ein Winkelausschlag von bestimmter Grösse, wenn man von einem Drehungswinkel von 45^0 ausgeht.

Ich gewann nun aus meinen Einzelbestimmungen,

bei welchen ich erstens die Drehungswinkel des Nikols einstellte, wo ein Helligkeitsunterschied eben merklich war, zweitens diejenigen, wo ein solcher nicht mehr merklich war, einen Maassstab für die Empfindlichkeit in der im folgenden anschaulich zu machenden Weise:

Wenden wir uns wieder der Bestimmung des oben zu allererst genannten Rauchglases zu, dessen lichtschwächende Wirkung wir erschlossen aus der zum Ausgleich nötigen Drehung des Nikols auf 30°. Nach dem Kosinusquadratgesetz war also dann (von der = 1 gesetzten ursprünglichen Lichtstärke) noch übrig die Lichtstärke: 1. $\cos^2 30^0 = 0{,}75$. Dieser Helligkeit gegenüber erschien als ebenmerklich grösser diejenige, welcher entsprach $\cos^2 28^0$, als eben merklich geringer diejenige, welche durch $\cos^2 31{,}85$ oder $31^0\,51'$ dargestellt ward. Wir berechnen $\cos^2 28^0 = 0{,}77958$; $\cos^2 31^0 51' = 0{,}72153$; $\frac{0{,}72153}{0{,}75}$ ist aber gleich $\frac{0{,}75}{0{,}77958}$: ebenso ist

$$\frac{0{,}75 - 0{,}72153}{0{,}72153} = \frac{0{,}77958 - 0{,}75}{0{,}75} = \frac{1}{25{,}35};$$

und es zeigt sich also, dass derjenige Zuwachs an Lichtstärke, der als ebenmerklicher Helligkeitszuwachs empfunden wird, beide mal den gleichen Bruchteil der Lichtstärke beträgt, zu welcher er einen positiven Zuwachs darstellt. Es gilt also auch hier, wie auf anderen Gebieten, für die Beziehung zwischen der als Reiz einwirkenden Naturkraft und der durch sie ausgelösten Empfindung das Weber'sche Gesetz. Diesen Bruch nun, welcher somit die gleiche Grösse behält, wie gross auch (von einem oberen und namentlich unteren [s. o.] Grenzgebiet abgesehen) die als Reiz einwirkende Lichtstärke immer sein mag, benutzen wir als Maassstab für die Empfindlichkeit; in unserem Beispiel wäre er also:

$$\frac{1}{25{,}35} = 0{,}03945 = 3{,}95\,\%.$$

Gesetzt nun, wir hätten es im vorliegenden Falle gar nicht auf die Bestimmung der lichtschwächenden Kraft des Rauchglases abgesehen, sondern nur darauf, wie gross bei der als Reiz dienenden, durch das Rauchglas entsprechend abgeschwächten Lichtstärke in dem gerade zu untersuchenden Abschnitte des Spektrums unsere Unterschiedsempfindlichkeit sei, so können wir uns auch mit der Bestimmung der beiden Drehungswinkel 28° und 31° 51′ begnügen, und berechnen

$$\frac{\cos^2 31^\circ 51'}{\cos^2 28^\circ} = \frac{0{,}9255}{1}.$$

Die Helligkeit $= \cos^2 28^\circ$ ist dann nicht um einen, sondern um einen doppelten ebenmerklichen Zuwachs, oder um 2 ebenmerkliche Helligkeitsabstufungen grösser, als die Helligkeit $= \cos^2 31^\circ 51'$. Diesem gewissermaassen verdoppelten Zuwachs an Helligkeit entspräche ein verhältnismässiger Unterschied der Lichtstärken von 0,0745 oder 7,45 %. Setzen wir die ebenmerklich grössere Lichtstärke = 100, die ebenmerklich geringere = p . 100 (p = dem Ausdruck, der das Verhältnis der geringeren zur grösseren Lichtstärke angiebt; im obigen Beispiel = 0,9255), so wäre 7,45 = 100(1 — p). Da diese Grösse von 7,45 % bei Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes genau ebenso unabhängig von der den Reiz gebenden absoluten Lichtstärke ist, wie der den einfachen ebenmerklichen Zuwachs an Lichtstärke darstellende Werth von 3,95 %, so kann sie uns gerade so gut als Maassstab unserer Unterschiedsempfindlichkeit dienen, wie jener. Auf diese Weise maass Dreser seine Unterschiedsempfindlichkeit vor und nach der Einwirkung von Strychnin, und ich habe im Anschluss an ihn denselben Weg eingeschlagen. Die absolute Licht-

stärke selbst bleibt dabei zunächst unbekannt; es leuchtet aber ein, dass eine völlig genaue Bestimmung derselben für die Beurteilung der Empfindlichkeit nur unter besonderen Verhältnissen einen Werth hätte und dass man sie für gewöhnlich mit hinreichender Genauigkeit

$$= \cos^2 \frac{\varphi + \varphi_1}{2}$$

setzen kann, worin φ und φ_1 die beiden Drehungswinkel für zu hell, bez. zu dunkel bedeuten. Im vorliegenden Falle wäre also die wahre Lichtstärke

$$r = \cos^2 \frac{28^0 + 31{,}85^0}{2}$$

$$= \cos^2 29^0\, 55'\, 30''$$

$$= 0{,}7514 \text{ (statt } 0{,}75).$$

Im Anschlusse an Dreser habe auch ich ein solches Verfahren eingeschlagen.

Aber noch auf einem anderen Wege können wir am Spektrophotometer einen Maassstab zur Beurteilung unserer Genauigkeit im Bestimmen von Lichtstärken gewinnen. Es ward schon oben davon gesprochen, wie bei wiederholten Versuchen, das untere helle Feld mit dem oberen gleich hell zu machen, die einzelnen eingestellten Drehungswinkel um einen Mittelwerth hin und her schwanken. Es ist dies mit dem Punkte, wo der Unterschied eben merklich wird, nicht anders; auch hier stellen wir bald einen grösseren, bald einen kleineren Winkel ein, und müssen ebenso wie bei den Bestimmungen des Punktes gleicher Helligkeit, den idealen Punkt als arithmetischen Mittelwerth zahlreicher Einzelversuche bestimmen. In einer Reihe von z. B. 10 Einstellungen können die einzelnen Abweichungen vom Mittel ganz verschieden verteilt sein. Die Unsicherheit, welche

jeder einzelnen Bestimmung einer solchen Versuchsreihe innewohnt, berechnen wir nach der Methode der kleinsten Quadrate[22]). Sei n die Zahl der Einzelbestimmungen, seien die einzelnen Abweichungen mit δ, die Summe ihrer Quadrate mit $\Sigma\delta^2$ bezeichnet, so ist die mittlere Abweichung, der mittlere Fehler der Einzelbestimmung, ich nenne ihn f m:

$$f\,m = \pm\sqrt{\frac{\Sigma\delta^2}{n-1}}.$$

Nicht bei jeder beliebigen Verteilung der Einzelabweichungen um ihr arithmetisches Mittel herum wird diese Formel, welche auf dem von Gauss aufgestellten Fehlergesetze beruht, zutreffend sein. Der Grund davon ist, dass dann so viele Schwankungsursachen mitspielen, dass sie erst bei einer sehr grossen Zahl von Einzelbeobachtungen in Gesetzmässigkeit der Abweichung aufgelöst werden können. Ob dies der Fall sei, prüft man an der Grösse des arithmetischen Mittelfehlers, d. h. desjenigen Fehlers, der als Mittel herauskommt, wenn man alle δ der n Beobachtungen zusammenzählt und die Summe durch n teilt. Der so herauskommende Fehler — ich will ihn a nennen — muss sein[23])

$$= \frac{f\,m}{1{,}2533}$$

oder

$$f\,m = 5/4\ a.$$

Trifft dies zu, so giebt unser fm den Grad der Unsicherheit einer Einzelbestimmung zutreffend an.

[22]) Vgl. J Merkel, Die Methode der mittleren Fehler experimentell begründet. Wundt's Philosophische Studien, Bd. 9, 1894. — W. Wundt, Grundzüge der physiologischen Psychologie, Bd. 1, IV. Auflage, 1893, S. 346 ff.

[23]) Vgl. J. Merkel a. a. O.

7. Die Bedingungen, unter welchen dieses Maass der Feinheit unserer Helligkeitsempfindung gültig ist.

Schon hieraus erhellt, dass es für denjenigen, welcher solche Untersuchungen anstellt, vor allem darauf ankommt, alle zufälligem Einflüsse auf die Beobachtungen möglichst auszuschliessen. Vor allem, wenn er von der Grösse des mittleren Fehlers auf die Sicherheit seiner Helligkeitsbeurteilung schliessen will. Jedoch ist auch der Werth $100\,(1-p)$ gar nicht als unabhängig von äusseren Zufälligkeiten anzusehen, wenn er auch viel weniger als der Werth fm unter dem Einfluss äusserer Umstände und vielleicht mehr unter dem Einfluss unseres Bewusstseins steht. Ich wählte daher, auf Grund meiner Kenntnisnahme von der Litteratur und eigener Erfahrungen, die Versuchsanordnung, die ich im folgenden näher beschreiben werde*).

Wenn nun bei einer gleichmässigen Versuchsanordnung zwischen arithmetischem Mittelfehler, a, und mittlerem Fehler, fm, das Verhältnis: $fm = 5/4\,a$ zu erwarten ist, so war dies in meinen Versuchsreihen trotz der geringen Zahl von 10 Einzelbeobachtungen fast stets bis auf wenige % der Fall (s. h. Tafel II). Daraus ent-

*) Wollte jemand mit solcher Versuchsanordnung die feinste Helligkeitsempfindlichkeit und ihre Änderungen bestimmen, so wäre das freilich ein Unding. Ich schrieb zwischen die Einzeleinstellungen hinein, mein Auge erlitt Blendungen, ich drehte den Nikol mit einer einfachen Alhidade anstatt mit einer Mikrometerschraube u. s. w. Dagegen war bei meiner Versuchsanordnung dafür gesorgt, dass bis auf die unbedeutendsten Kleinigkeiten alle Umstände der Versuchsanordnung in ganz bestimmter Weise geregelt waren, und so möglichst wenige und zwar nur konstante Fehler verursachten, dass andererseits aber, wo dies nicht ganz gelang, die Fehlerquellen möglichst genau überwacht wurden.

nehme ich die mathematische Gewähr dafür, dass gröbere nicht bei 10 Beobachtungen ausgleichbare Störungen in meinen Versuchen thatsächlich ausgeschlossen waren, vor allem Schwankungen durch äussere Zufälligkeiten, welche an sich schwerer ausgeglichen werden.

Die inneren[24]) Schwankungen aber, welche durch die verschiedene Erwiderung ein und desselben Reizes unter gleichen Aussenverhältnissen angezeigt werden, können in Dreierlei ihren Grund haben: in Änderungen der Empfindung, der Aufmerksamkeit und der Willkürbewegung. Werde in der Rechnung nun die Aufmerksamkeit, welche ich stets gespannt hielt, = 1 gesetzt, und die Willkürbewegung, das einfache Aufwärtsbewegen und (hier etwas unterstützt durch das Gewicht des Armes) Abwärtsbewegen einer nicht zu weich, aber ganz gleichmässig gehenden Alhidade, in immer gleicher Stellung des Arms, auch = 1 gesetzt, so bliebe nur noch die Empfindung übrig, als dasjenige, was in den Schwankungen gewissermaassen zum Worte kommt. Die betreffende Empfindung sagt indes nicht, jetzt ist es gleich hell, sondern: jetzt ist genug gedreht, und wenn auch die Aufmerksamkeit der Empfindung des Helligkeitsunterschiedes den weitaus überwiegenden Einfluss verschafft, so kann doch die Empfindung der Einstellungsbewegung niemals bedeutungslos gemacht werden; nur wird sie keine grosse Bedeutung beanspruchen, wenn die betreffende Bewegung nach Stärke, Schwierigkeit und nach der Übung eine geringfügige ist. Doch muss die Aufmerksamkeit auch wirklich bloss dem Eindrucke des Helligkeitsunterschiedes zugewandt sein, und nur ihm nachgehen, insoweit er sich in deutlicher Weise uns als solcher darstellt — was ich mir gleichfalls zur Aufgabe stellte.

[24]) Vgl. G. Th. Fechner, Die psychophysischen Maassprincipien und das Weber'sche Gesetz, Wundt's Philosophische Studien Bd. 4, 1888, S. 160—230, insbesondere Abschn. II.

8. Versuchsanordnung.

Ich beschreibe nunmehr die Anstellung einer Versuchsreihe. — Auf Reinigung des Lampencylinders, des Okulars, des Behälters, der Teile vor dem lichtgebenden Spalt u. s. w. wurde Bedacht genommen*). An der Lampe war durch den geschwärzten Thonmantel um den Cylinder, einen darüber gestülpten 2mal im Winkel abgebogenen Schornstein und ein kurzes Rohr um den Kranz alles unerwünschte Licht abgeblendet. Ich sass auf einem nach Bequemlichkeit hochgeschraubten Sessel an einem schwarz bezogenen Tisch, den Kopf hinter einem schwarzen Vorhang, der ein das Spektrophotometer überdachendes Gehäuse aus schwarzer Pappe und schwarzem Tuche abschloss. Zum Ablesen wurde eine ausserhalb unmerklich nieder brennende Gasflamme hell gemacht[25]). Zum Einstellen schob ich die Alhidade mit der rechten Hand im rechten unteren Quadranten des Teilkreises von der Nullstellung nach links abwärts, beziehungsweise zur Nullstellung nach rechts aufwärts; die Einstellung, zur Ausgleichung des Fehlers des Nullpunktes[26]), im linken Quadranten (an der linken Seite des Apparats drehend), unterliess ich, da für die Beurteilung der von mir gesuchten Grössen die ganz genaue Kenntnis der mittleren procentischen Lichtstärken unnötig war, die Abweichungen zwischen rechtem und linkem Quadranten auch $0{,}5^0$ nicht zu erreichen pflegen. Die Einstellungen geschahen so, dass

*) Mit der Besorgung aller dieser Kleinigkeiten brachte ich vor Beginn jeder Versuchsreihe 5—10 Minuten im Dunkelzimmer zu.

[25]) Vgl. G. Hüfner, Zeitschrift für physikalische Chemie Bd. 3, 1889, S. 562 ff.

[26]) Vgl. die „Anleitung zum Gebrauche des Hüfner'schen Spektrophotometers“ S. 15.

z. B. erst ein paarmal hin und hergedreht (um ein scharfes Bild zu erfassen), hierauf die untere Spalthälfte stark dunkel gestellt, und endlich rasch drehend die Verdunklung bis auf einen ganz geringen Betrag vermindert ward. Nun bewegte ich den Hebel aufwärts, und zwar langsam, bis, womöglich auf einmal, meist aber in 2—3 Absätzen, der Punkt erreicht war, wo die Verdunklung des unteren Feldes verschwunden zu sein schien: darauf wurde eine Bemerkung über die gemachte Einstellung (z. B. „etwas langsam", „in Absätzen", „vielleicht überdreht", „gut" u. s. w.) gemacht, darauf abgelesen und die Zahl aufgeschrieben; nun wieder ein paarmal hin und hergedreht, das untere Feld stark aufgehellt, die Aufhellung rasch bis zur Ebenmerklichkeit verringert und nun langsam durch die Breite der Gleichheit beider Felder hindurch so lange fortgedreht, bis das untere Feld ebenmerklich dunkler wurde als das obere; wiederum Bemerkung, Ablesung. Ebenso wurde das untere Feld auf eben unmerklich zu hell, ebenmerklich zu hell eingestellt. Immer nach 4 solchen Einstellungen wurde der Lampenstand, die Flammenhöhe, nachgesehen, nötigenfalls zurechtgeschraubt, nach Bedarf das Okular geputzt u. s. w.; 10 solcher Folgen von je 4 Einstellungen gaben eine Reihe. Eine „Folge" heisst also gewissermaassen ein Kreis von vier verschiedenen Einstellungen.

Eine Reihe dauerte etwa schwach $1^1/_2$ Stunden. Möglichst gleichmässige Schnelligkeit im Einstellen hatte ich gestrebt mir anzugewöhnen, und war mir dazu von Nutzen die Selbstüberwachung mittels der Bemermerkungen. Sah ich sofort nach dem endgültigen Absetzen, dass ich ziemlich zu weit gedreht hatte, so ward sofort ohne weiteres nochmals eingestellt, niemals dagegen etwa rückwärts gedreht. Ein einmal abgelesener Werth wurde, selbst wenn er beträchtlich von den

übrigen abwich, im ganzen Verlauf der Versuchsreihen, mit vielleicht 3—4 besonders begründeten Ausnahmen, nie verworfen.

9. Äussere Umstände nach ihrer Bedeutung für die Genauigkeit der Helligkeitsunterscheidung.

Ich untersuchte in dem fensterlosen inmitten des Gebäudes gelegenen Dunkelzimmer des physiologisch-chemischen Instituts, dessen einfache Ausstattung immer die gleiche war. In den grossen Ferien betrat ausser Herrn Professor Hüfner und dem Diener fast kein Mensch die Räume des Instituts. Kein Geräusch drang von aussen zu mir herein; die Schwankungen der Aussentemperatur machte der Raum nur in mässigem Umfange mit. Meine ganze Lebensweise war eine höchst gleichförmige. Keinerlei bedeutendere Aufregungen oder Zerstreuungen lenkten mich ab. Tagsüber wurde neben der Anstellung der Reihen gelesen, geschrieben und gerechnet, und etwas an die frische Luft gegangen. Eine halbe Stunde lang oder mehr vor Anstellung einer Reihe wurden die Augen vor Anstrengungen gehütet bezw. für ihre Erholung gesorgt. Keine Reihe wurde nach weniger als $1^1/_2$ Stunden, die meisten (Nachmittags-) Reihen erst $2^1/_2$ Stunden nach dem Mittagessen begonnen. Zwischen 2 Reihen des gleichen Tages wurde (abgesehen von einem eigens dazu angestellten Versuch) nur einmal blos 47 Minuten, fast immer über 1 Stunde Pause gelassen. Während der ganzen Zeit enthielt ich mich von Alkohol, Kaffee und Thee so gut wie völlig, und rauchte höchstens ab und zu abends eine Cigarre.

Über einige weiterhin zu beachtende Punkte verschaffte mir eine grosse Anzahl von Vorversuchen Aufklärung. Sie wurden so angestellt, dass der eben auftauchende Unterschied: zu dunkel, zu hell im rechten

und linken Quadranten mit der rechten Hand eingestellt und nun von diesen je 2×5 (öfters auch 2×4, 2×7) Zahlen die beiden Mittel zur Berechnung von $100\,(1-p)$ verwandt wurden. Die Einstellungen geschahen, wie oben beschrieben, doch nicht ganz ohne Hin- und Herdrehen um den gesuchten Punkt*). Leider hatte ich damals noch Auer'sches Glühgaslicht, das, trotz eingeschalteten Druckmessers und der die Strahlen parallel machenden Konvexlinse, im Gefolge der ganz unberechenbaren Gasdruckschwankungen, die sich an manchen Tagen zeigten, Helligkeitsänderungen zu stande kommen liess; ausserdem beobachtete ich ohne das Kopfgestell. Da ich über die Ursache meiner öfters ganz regellos herüber und hinüber schwankenden Werte nicht im Klaren war, arbeitete ich sehr langsam mit angespanntester Aufmerksamkeit und in der That muss ich, wie das geringe Schwanken der dann erhaltenen Werte beweist, dabei unbewusst immer die nämliche Kopfhaltung wieder aufgesucht haben; die Zahlen sind also als möglicherweise beeinflusst nicht nur durch die Aufmerksamkeitsschwankungen, was weniger bedenklich wäre, sondern auch in unübersehbarem Grade durch

*) Ich wurde bei dieser Gelegenheit auch gewahr, dass die, im rechten und linken Quadranten verschiedene, Haltung der drehenden rechten Hand bei mir mittlere Abweichungen in der Einstellung des ebenmerklichen Helligkeitsunterschiedes oder der gleichen Helligkeit bedingte, welche dem Wert $100\,(1-p)$ an Grösse gleichkommen konnten und namentlich bei Helligkeitsvergleichungen im Rot auffallend gross waren; bei zwei zur Prüfung herangezogenen anderen Personen zeigte sich ganz ähnliches. Es dürfte sich hier um einen konstanten Schätzungsfehler handeln, vergleichbar dem Fehler, den der Astronom bei der Schätzungsbestimmung der Sterndurchgänge begeht, oder dem bei Schätzung von Zeitgrössen gemachten Fehler.

andere unbemerkte seelische und physiologische Einflüsse anzusehen. Erst nachdem ich gesehen habe, dass ihre Ergebnisse mit denen meiner hier zur Grundlage dienenden Versuche vollständig bis ins einzelne übereinstimmen, so weit ich eine Nachprüfung vorgenommen habe, wage ich sie zum Ziehen von Wahrscheinlichkeitsschlüssen zu verwerthen.

In erster Linie wollte ich über die Bedeutung einer blossen Erfüllung des Magens überhaupt und insbesondere mit heissem Getränk ins klare kommen. Aus allen meinen Beobachtungen schliesse ich, dass ein solcher Einfluss nicht merklich sein kann, wenn der Magen nicht in ganz ungewohnter Weise in Anspruch genommen und nicht erheblich beschwert wird. So trank ich $^5{}_4$ Stunden nach Beendigung einer Versuchsreihe, nachdem ich, vornehmlich im Laboratorium, allerhand kleinere Arbeit verrichtet hatte, in 5 Minuten 1 Flasche Selterswasser und ass 1 Weck dazu. Die unmittelbar danach angestellte Reihe zeigte im Beginn eine geringe Verschlechterung, dann eine ganz geringe Besserung der Empfindlichkeit gegen den Normalzustand; der Mittelwert blieb derselbe. Bei diesen Reihen hatte ich das Kopfgestell schon, so dass der Haupteinwand gegen diesen Vorversuch nicht angeführt werden kann.

Sehr wichtig war sodann, dass ich die Nacht zuvor nicht nur gut, sondern namentlich auch lange genug geschlafen hatte. Selbst ohne jede Spur von Ermüdungsgefühl oder auch nur Abspannung beobachtete ich sonst am folgenden Tage (z. B. am 4., 14. August, am 14. September) mit, den erhaltenen Zahlenwerthen nach, geringerer Empfindungsschärfe. Dem langen Schlafen ähnlich wirkte ein ganz sorglos, ruhig unternommener Spaziergang ohne jede Beschäftigung. Dadurch erkläre ich mir die ganz auffallend gute Unterschiedsempfindlichkeit bei einer Normalreihe im Rot (27. September

10 h 45—12 h); vorher hatte ich zugleich 2 Wecken gegessen, die aber wohl an diesem Ergebnis nicht Schuld sind.

Baden, namentlich Kaltbaden, verschlechterte meine Empfindungsschärfe erheblich und entschieden nachhaltig. Nach einer gemütlichen Erregung, die schon stundenlang zurücklag, war meine Unterschiedsempfindlichkeit gleichfalls (26. September nachmittags) herabgesetzt.

Es würde noch erübrigen, etwas über die Bedeutung der Anpassung, der Ermüdung, Erholung und Übung nachzuholen. Die Anpassung an die den Augen dargebotene allgemeine Beleuchtung wurde gewöhnlich während der 5—10 Min. erreicht, die ich, mit Vorbereitungen (darunter das Stellen des Okulars und des Rauchglaskeils vor dem Kollimatorspalt, s. o.) beschäftigt, im Dunkelzimmer zubrachte. Nur selten gab sich eine mangelhafte Anpassung in ganz unsinnigen Ersteinstellungen kund. Nicht mit der Anpassung zu erklären ist die weiterhin öfters gemachte Wahrnehmung, dass (bei den kurzen Reihen der Vorversuche deutlicher, z. B. 15., 18. August) die erste Versuchsreihe eines Tages eher etwas geringere Empfindlichkeit ergab (vgl. übrigens eine ähnliche Erfahrung bei Wiskemann a. a. O.). Vielleicht langte meine psychische Leistungsfähigkeit erst allmählich auf ihrem Höhepunkt an[27]). War umgekehrt die erste Reihe auffallend gut, so war für die zweite ein ungemein starker Abfall der Empfindlichkeit öfters festzustellen, ohne dass eine ausreichende Erklärung sich wollte finden lassen (Vorversuche vom 16., 17., 21. August). Es schien dies gerade an solchen Tagen einzutreten, wo von vornherein eine geringe

[27]) Vgl. E. Kräpelin, Über psychische Funktionsprüfungen. Allgem. Zeitschrift für Psychiatrie, Bd. 46, 1890, S. 522.

Leistungsfähigkeit zu erwarten stand (am 17. August hatte ich schlecht geschlafen, am 20. war das Auge stark in Anspruch genommen)[28]). Die Ermüdung gewann gegen das Ende der $1^1/_2$ Stunden, die eine Versuchsreihe dauerte, noch keine sehr bedeutende Macht. In den Fällen aber, wo ich es versuchte, eine Reihe noch länger fortzusetzen, steigerte sie sich, und vergrösserte den Werth $100(1-p)$ rasch immer mehr. Einen Einfluss der Tageszeit konnte ich im übrigen nicht wahrnehmen.

Meine Übung war während der mitzuteilenden Versuche wohl durchweg schon ihrem Höhepunkte nahe, da ich vorher 8 Wochen lang so gut wie täglich am Spektrophotometer gearbeitet, allerdings hauptsächlich bei den geringeren Lichtstärken.

Ich habe nunmehr alles wichtigere angeführt, was von unerwünschten Einflüssen auf die Grösse meiner Werte teils durch die Versuchsanordnung ausgeschlossen, teils zum konstanten und somit bedeutungslosen Fehler gemacht, teils überwacht wurde, um entsprechend in Rechnung gezogen werden zu können. Nur der ganz besonderen Gunst der Aussenverhältnisse ist es zu verdanken, dass die Untersuchung auf alles möglicherweise Einwirkende eine so weitgehende Rücksicht nehmen konnte. Sind auch meine Ergebnisse noch lange nicht fein genug, um über die wahren Wandlungen unserer Empfindlichkeit unter dem Einfluss der Aussenverhältnisse ein deutliches Bild zu geben, womit wohl ein Blick in die wahre Natur derselben gewonnen werden könnte, so sind doch die vorliegenden Zahlen vielleicht unzweideutig, insofern sie nur das Vorkommen grober Schwankungen in einer oder der anderen Rich-

[28]) Vgl. E. Kräpelin, Über die Beeinflussung einfacher psychischer Vorgänge durch einige Arzneimittel, 1892, S. 117.

tung anzeigen, und zu ihrer Bestimmung sicher genug. Gern würde ich mehr bieten, aber drängende Umstände und Andeutungen von Überanstrengung des Auges erlegten mir einen Abschluss der Versuche auf.

10. Meine physiologische Unterschiedsempfindlichkeit.

Meine physiologische Unterschiedsempfindlichkeit betrug, gemessen an den Durchschnitten der Werte 100 (1 — p) und f m:

Farbe und Helligkeitsstufe	Durchschnittlich 100 (1 — p) %	Äusserste Werte 100 (1 — p) %	Durchschnittlich f m %	Äusserste Werte f m %
1. Hellrot (Lichtstärke 44 %)	11,58	13,43—10,65	3,23	—
2. Dunkelrot (Lichtstärke 11 %)	12,82	15.51—10.54	4.58	5.24—3,95
3. Hellgrün (Lichtstärke 44 %)	11,58	13.31—10.37	3.70	4,75*—2,91
4. Dunkelgrün (Lichtstärke 11 %)	12,84	15.87— 8.62	4.70	5.16—4,29

Von den Reihen, welche die schlechteste Unterschiedsempfindlichkeit nach der Grösse von 100 (1 — p) ergaben, sind 2 früh als erste des Tages, eine abends spät als einzige, und eine (4.) als zweite des Tages nach einer etwas unzureichenden Erholungspause gemacht. Von den 3 Reihen, welche nach der Grösse von f m (in hellroth habe ich überhaupt nur zwei Normalreihen gemacht, deren eine zur Berechnung von f m nicht brauchbar ist) die grösste Unsicherheit in der Helligkeitsbestimmung zeigten, ist die erste abends als einzige Reihe des Tages, die zweite (mit * oben bezeichnet) nachmittags, mehrere Stunden nach einer unangenehmen Erregung, die dritte früh als erste des Tages nach einer unruhigen Nacht (ergab zugleich für 100 (1 — p) den Wert 8,62) gemacht.

Man sieht schon hier, was ein Einblick in die beigefügten Tafeln noch deutlicher hervortreten lässt: die Zahlen für f m und 100 (1 — p) gehen einander wohl im

grossen Ganzen, im Einzelnen jedoch garnicht parallel. Der Umstand, dass beide Grössen einander im grossen Ganzen parallel gehen, führt zu der Annahme, dass beide zu einer und derselben Dritten im gleichen Abhängigkeitsverhältnis stehen, und dieses Dritte ist man berechtigt in der Unterschiedsempfindlichkeit zu erblicken. Die vielen Abweichungen im Einzelnen beweisen, dass auf die Grösse von f m, und auf die Grösse von 100 (1 — p) ausserdem noch mancherlei Einwirkungen stattfinden, die aber bei beiden verschieden sind. Der Wert 100 (1 — p) giebt uns, nicht unmittelbar, aber mittelbar, ein Zeichen von demjenigen Unterschiede zweier Empfindungen, welcher als Unterschiedsempfindung eben noch in dem Bewusstsein erfasst werden kann, der Wert f m giebt uns einen Unterschied von zwei Empfindungen, welcher, unserem inneren Sinne unerreichbar, in den Tiefen unseres seelischen Lebens wirksam ist. Was die Grösse 100 (1 — p) darstellt, das kann, insofern es (mittelbar — s. o.) dem aufgefassten Empfindungsunterschiede entspricht, durch die Aufmerksamkeit mit Hülfe des Verstandes von der Verbindung mit anderen psychischen Vorgängen losgelöst erhalten werden. Die Grösse f m zeigt uns die Bedeutung an, welche ein unmerklicher Empfindungsunterschied ohne unser Zuthun gegenüber der Gesamtheit gleichzeitiger seelischer Lebensvorgänge gewinnt.

11. Meine Unterschiedsempfindlichkeit im Vergleich mit der von anderen Beobachtern bei sich gefundenen.

Um über die eben mitgetheilten für meine Unterschiedsempfindlichkeit erhaltenen Zahlenwerte ein klares Urteil zu erleichtern, werde ich sie nun mit den von anderen Untersuchern angegebenen Zahlenwerten vergleichen.

Ich ziehe zunächst die von Dreser am gleichen Instrument erhaltenen Ergebnisse heran. Dreser hatte in den entsprechenden Breiten[29]):

Im	Hellrot	$100(1-p)=$	6,5 %
„	Dunkelrot	„ „	= 10 „
„	Hellgrün	„ „	= 7,8 „
„	Dunkelgrün	„ „	= 11,5 „

Somit nimmt seine Unterschiedsempfindlichkeit mit dem Übergang in höhere Breiten ab, ähnlich wie bei mir. Im übrigen bezeichnen seine Zahlen eine nicht unerheblich grössere Unterschiedsempfindlichkeit, namentlich bei den grösseren Helligkeiten und vor allem im Rot. Bei jenen, wenigstens im Hellrot, untersuchte ich nach einer möglicherweise nicht völlig genügenden Vorübung, da ich weitaus die meisten Vorversuche in der höheren Breite angestellt hatte. Bei den Einstellungen im Rot aber hatte ich gerade im Gegensatz zu Dreser stets das Gefühl einer gewissen Unsicherheit meiner Wahrnehmung, obgleich bei einer auf der Augenklinik der Tübinger Universität vorgenommenen Prüfung meine Farbenunterscheidung normale Feinheit zeigte. Beim Lesen photometrischer Abhandlungen kam ich zu dem Eindruck, dass die, doch wohl thatsächlich ebensowenig wie ich farbenblinden, Beobachter zum Teil im Rot verhältnismässig schlecht unterschieden (Vierordt, Dobrowolsky, Korniloff), zum Teil verhältnismässig gut (Bohn, Dreser). Es ist überhaupt ein Vergleich zwischen Dreser's und meinen Zahlen nur ungefähr möglich, da Dreser an einem anderen mit Mikrometerschraube zum Einstellen ausgerüsteten Exemplar des Hüfner'schen Spektrophotometers untersuchte

[29]) Vgl. bei Dreser a. a. O. S. 259 die Kurven der Unterschiedsempfindlichkeit.

und vermutlich nicht bei der gleichen Breite des lichtgebenden Spaltes.

Sowohl Dreser's wie meine eigenen Zahlen ergeben eine auffallend viel geringere Unterschiedsempfindlichkeit, als sie in den ganz ähnlichen Versuchen von König und Brodhun erreicht wurde. Dies dürfte sich natürlich so erklären:

König und Brodhun beobachteten mit Fernrohr ein 7 mm hohes, 5 mm breites Feld, dessen obere und untere Hälfte durch nichts als den Helligkeitsunterschied von einander geschieden wurden. Wir beobachteten einen Streifen von 5 : 0,25 mm (Dreser dürfte ungefähr die gleiche Blendenöffnung gehabt haben) durch ein Okular; bei dieser geringen Breitenausdehnung sank der Sehwinkel entschieden unter die Grösse, von der ab die Unterschiedsempfindlichkeit mehr und mehr durch die Kleinheit des Bildes beeinträchtigt wird[30]), und die Längenausdehnung, bei welcher der Spalt nur eben noch auf einmal ganz übersehen wurde, störte höchstens noch mehr. Die Seite, mit welcher beide Felder aneinanderstiessen, war schmal, und sie hier durch eine scharfe schwarze Grenzlinie von einander geschieden, die den Randkontrast erheblich schwächen musste. Bei meinem starken Brechungsfehler war mein Netzhautbild noch kleiner als jenes von Dreser; dazu durfte ich, eine äusserst ungünstige Folge meines Brechungsfehlers, den Blick viel weniger wandern lassen, als ein andrer Beobachter, sondern musste darauf aus sein, nach Möglichkeit das scharfe Bild mit wenig bewegtem Auge festzuhalten (durch die ganze Zeit einer Einstellung starr zu fixieren und dabei Unterschiede

[30]) F. C. Müller-Lyer, du Bois-Reymond's Archiv für Physiologie. 1889. Suppl. S. 91. — Vgl. auch H. von Helmholtz, Zeitschr. f. Psychol. u. Phys. d. Sinnesorgane Bd. 1, S. 17. — W. Uhthoff, ebenda S. 134ff. (Referat), S. 155ff.

und Gleichheit auch nur einigermaassen genau zu bekommen, gelang mir nicht*).

Über den mittleren Fehler bei Helligkeitsvergleichungen im Gelbgrün und Grün am Hüfner'schen Spektrophotometer stellte von Noorden[31]) Nachforschungen an. Er fand in der Gegend D 32 E — D 53 E den Fehler für die von mir angewandte höhere Breite = 2,78 %, für die von mir benutzte niedrigere = 1,12 %.

Ich gebe hier die von ihm für die Unterschiedsempfindlichkeit in verschiedenen Breiten, bei Einstellung der Gegend D 63 E — D 84 E, gefundenen Werte wieder, und stelle daneben die von Dreser bei verschiedenen Lichtstärken, in der Gegend der Linie b, erhaltenen Werte 100 (1 — p), um hieran wiederum zu zeigen, wie die Grösse des ebenmerklichen Helligkeitsunterschiedes und die des mittleren Fehlers von der Stärke des Lichtreizes in ganz derselben Weise abhängig sind.

*) Zu beachten ist, dass die so am Hüfner'schen Spektrophotometer erhaltenen Ergebnisse nicht die Empfindlichkeit für einen bestehenden, sondern diejenige für den entstehenden Helligkeitsunterschied, die Feinheit der Veränderungsempfindung darstellen, welche vielleicht eine Empfindung besonderer Art ist und für welche die Netzhautperipherie eine besondere Bedeutung hat[32]). Von Wichtigkeit ist hierbei die (in meinen Versuchen stets möglichst gleich gehaltene) Geschwindigkeit der Helligkeitsveränderung.

[31]) Zeitschr. für physiol. Chemie, Bd. 4, 1880.

[32]) Vgl. S. Exner, Entwurf zu einer physiologischen Erklärung der psychischen Erscheinungen. 1894. William Stern, Zeitschr. f. Psychol. und Physiol. der Sinnesorgane, Bd. 7. 1894, Heft 4, S. 249 ff.

Lichtstärke in %	100 (1 — p) (Dreser) in %	mittlerer Fehler (v. Noorden) in %	Lichtstärke in %
3	22,5	4,76	6,7—0,5
12	**12,0**	**1,85**	**19,2—6,7**
30	8,5	1,82	32,9—19,2
38	**7,0**	**1,37**	**32,9—41,3**
50	10,0	**1,52**	**41,3—51,7**

Ein Vergleich mit den von mir erhaltenen Zahlen ergiebt, dass auch meine mittleren Fehler in den höheren Breiten in gleicher Weise grösser sind.

Im übrigen ergeben sich die mittleren Fehler in meinen Versuchsreihen als viel grösser. Einmal ist wohl etwas Abspannung des Auges daran schuld, nachdem ich seit Ende Juli bis Ende September schon fast täglich am Spektrophotometer gearbeitet. Dann aber musste meine umständliche Art zu beobachten, zwischenhinein zu notieren u. s. w., den Fehler natürlich vergrössern, ohne ihn doch als Maass unbrauchbar werden zu lassen, denn all diese Umständlichkeiten folgten gleichmässig einem Plane.

Ausserdem aber möchte ich eine von Bohn[33]) anlässlich spektrophotometrischer Bestimmungen gemachte Erfahrung anführen: „Die Grösse der Verrückung des Nikols kann in der Erinnerung geblieben sein und nun die neue Einstellung hiervon und nicht mehr ausschliesslich durch das Urteil des Auges über die gleiche Helligkeit beeinflusst werden.“ Vermeiden lässt sich solches nur, wenn der Beobachter sich immer über die Art seiner Einstellung Rechenschaft giebt, sonst hat er am Ende einer Reihe kein Urteil darüber, ob er immer die gleiche (wie man unwillkürlich meistens thun wird) der

[33]) Photometrische Untersuchungen, Poggendorff's Annalen. Ergänzungsband 6, 1874, S. 386 ff.

Empfindung antwortende Bewegung gemacht hat oder nicht; und nun muss, abgesehen von der bewussten Spannung der Aufmerksamkeit auf den Eindruck des Helligkeitsunterschiedes, eine solche Einrichtung der Versuchsreihe eintreten, dass die Erinnerung, und zwar sowohl an den früheren ebenmerklichen Helligkeitseindruck, wie an die früheren Bewegungsempfindungen, welche beide immer gemeinschaftlich wieder in uns lebendig werden dürften, möglichst schwer zur Geltung kommen kann. Dafür sollte meine Versuchsanordnung mit genauer Bestimmung der auszuführenden Einstellungsbewegung und der doppelten Abwechslung zwischen Aufwärtsdrehen, Abwärtsdrehen; übermerklich, unmerklich, zu dunkel, zu hell; sorgen. Leider konnte ein anderer Erinnerungseinfluss nicht ebenso unschädlich gemacht werden, nämlich die Erinnerung an die letztabgelesenen Werte, die unbewusst daraus gezogenen Schlüsse betreffend den wohl zu erwartenden Mittelwert des Drehungswinkels und die nicht ganz unschädlich zu machende Neigung demgemäss das eine Mal unwillkürlich über das Ziel hinauszuschiessen, das andere Mal etwas zu wenig zu drehen, je nachdem man das vorhergehende Mal nach der anderen Seite abgewichen zu sein meint. Freilich musste der Wechsel zwischen viererlei Einstellungen ihren Einfluss schwächen; auch hütete ich mich wohl, während der Reihen die bis dahin abgelesenen Zahlen näher zu betrachten. Dass es aber ohne genaue Ausrechnung ganz müssig ist, aus oberflächlichem Überblicken der Reihen mehr als ganz besonders grobe Abweichungen der Werte für $100\,(1-p)$ erkennen zu wollen (nun vollends die Grösse von fm), hatte ich bei meinen Vorversuchen oft erfahren. Im übrigen musste ich mich auf meinen guten Willen und den festen Vorsatz, durch vorausgegangene Werte möglichst unbeirrt genau einzustellen, verlassen.

12. Meine Unterschiedsempfindlichkeit nach Einnahme von Arznei- und Genussmitteln.

Nachdem ich nunmehr eingehend dargelegt habe, welche Verhältnisse bei der Beurteilung meiner Versuche in Betracht zu ziehen sind, gehe ich zu den Versuchen selbst über. Ich habe sie zu 15 Paaren geordnet. Die einzelnen Paare sind nach zweierlei Gesichtspunkten zusammengestellt. Einerseits gewann ich vergleichbare Werte dadurch, dass ich einen Normalversuch unter möglichster Vermeidung aller störenden Einflüsse anstellte und nach einer Pause von etwa $1^1/_2$ Stunden den zur Prüfung einer arzneilichen Wirkung bestimmten Versuch folgen liess. Oder ich verglich einen zu einer ganz bestimmten Tageszeit angestellten Versuch mit einem im Laufe der nächstfolgenden Tage um die gleiche Zeit angestellten Versuche. Einzelne Störungen an Lampe und Absorptionskästchen, ungünstige Ereignisse, wie z. B. unruhige Nächte lieferten in der Regel die ganz ungezwungene Erklärung der zunächst an den Normalreihen von den oben angegebenen Mittelwerten im einzelnen beobachteten Abweichungen. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse, sowie alles dessen, was ich oben als unter Umständen bedeutsam bezeichnet habe, vereinigte ich solche Versuche zu Paaren, welche in Bezug auf die günstigen oder ungünstigen Umstände einander als gleichstehend betrachtet werden konnten.

Es sind 2 Tafeln beigegeben. (Siehe S. 57 bis 59.)

Die erste veranschaulicht die beobachteten Wirkungen der geprüften Stoffe. Sie zeigt die Zunahme bez. Abnahme des Wertes $100\,(1 - p)$ und enthält daneben, als Mittelwerte aus den betreffenden Fehlern der viererlei Einstellungen berechnet, die procentischen mittleren Fehler der Einzelbeobachtung, fm, für die Versuchsreihen vor, und nach dem Genuss der Stoffe.

Die zweite enthält in Teilen von Winkelgraden

ausgedrückt die einzelnen mittleren Fehler der Einzeleinstellung, d. h. den mittleren Fehler der in einer Versuchsreihe vorgekommenen 10 Einstellungen auf „eben nicht mehr zu dunkel", den mittleren Fehler der 10 Einstellungen auf „eben nicht mehr zu hell" u. s. w. Auch für die Einstellungen auf ebenmerklichen Unterschied habe ich die mittleren Fehler berechnet, obgleich mir der naheliegende Einwand nicht entgangen ist, dass ja hier eben unter dem Einfluss des Arzneistoffes der ideale Punkt, um welchen herum die Einzelwerte schwanken, selbst seine Lage ändert; denn so lange seine, durch Vergrösserung oder Verkleinerung des Wertes $100\,(1-p)$ angezeigte, Verschiebung gegen die Grösse der beiden mittleren Fehler für die ebenmerklichen Unterschiede nur klein bleibt, wie es hier der Fall, so macht diese Ungenauigkeit noch nicht viel aus. In eckigen Klammern ist unter jeden der nach der Methode der kleinsten Quadrate berechneten Fehler der um $^5/_4$ vermehrte arithmetische Mittelfehler gesetzt. Obgleich man bei 10 Einzelbeobachtungen nur eine Übereinstimmung beider Werte bis auf etwa 15 % zu fordern hätte[34]), ist die Übereinstimmung doch meistens viel besser.

In den Fällen, wo die Übereinstimmung 15 % nicht erreichte, erwiesen sich gewöhnlich einzelne durch erkennbare störende Einflüsse bedingte abweichende Werte als schuldig. In diesen Fällen erachtete ich es für geboten zu versuchen, ob nach ihrer Weglassung die 9 übrigen Werte einen mit dem Fehlergesetz stimmenden mittleren Fehler lieferten, und wenn das der Fall war, diesen als wahren mittleren Fehler gelten zu lassen. Die Fälle, wo ein solcher Wert eingesetzt ward, sind in Tafel II mit * bezeichnet. In zwei durch ** bezeichneten Fällen gelang es so nicht, ungezwungen die

[34]) Vgl. Merkel a. a. O.

Übereinstimmung herzustellen. Die einzelnen, sehr abweichenden Werte kamen meist ganz im Beginn, als erste Einstellungen in der Versuchsreihe, vor, waren somit ein Ausdruck noch nicht ganz erreichter Anpassung des Auges. Hätte ich sie beibehalten, so wären durch sie meine Zahlen für 100 (1—p) öfters geradezu gefälscht worden. Ich ersetzte sie durch ihnen nach Maassgabe des betreffenden mittleren Fehler möglichst nahekommende Werte, und zwar bin ich dabei bewusst zu Ungunsten eines augenfälligen Ergebnisses der Versuche verfahren. (Vgl. Tagebuch.)

Im Anhang giebt endlich ein Tagebuch über die Bedingungen Auskunft, unter welchen die einzelnen Versuche angestellt sind. Die hier öfters erwähnten äusseren Störungen dürfen in ihrem Einfluss nicht überschätzt werden; selbst auf den mittleren Fehler scheinen sie mir viel weniger Einfluss zu haben, als die inneren Schwankungen; immerhin waren sie aufzuführen, da ihr Einfluss gelegentlich unverkennbar war.

Wenn nun ein Arznei- oder Genussmittel bei meinen Versuchen die Unterschiedsempfindlichkeit herabsetzte oder verfeinerte, so standen ihm hierzu 4 Wege offen: 1. konnte es auf die lichtempfindlichen Teile der Netzhaut wirken; 2. konnte es central eine erleichterte oder erschwerte Auffassung und Verarbeitung der äusseren Eindrücke bedingen; 3. konnte die auf den Empfindungsreiz hin stattfindende centrale Bewegungsauslösung begünstigt oder behindert werden; 4. konnte vielleicht eine periphere Beeinflussung der Bewegungswerkzeuge etwas ausmachen.

13. Strychnin.

Die erstgenannte Wirkung können wir mit Bestimmtheit dem Strychnin zuschreiben, wenigstens bei der lokalen Anwendung, wie sie seit Nagel's Em-

pfehlung bei Augenleiden üblich ist[35]). Von den klinischen Erfahrungen dürften hierfür besonders sprechen die guten Erfolge der Strychninbehandlung bei Überanstrengung der mit starkem Brechungsfehler behafteten Augen und bei selbst hochgradiger Amblyopie aus Nichtgebrauch. Eine Einwirkung einer einzelnen solchen Strychnindosis (2—4 mg) auf das Gehirn kommt kaum in Betracht, insoweit nicht Allgemeinsymptome merklich sind.

Zur Probe, ob die von Dreser beschriebene Erhöhung der Unterschiedsempfindlichkeit durch Strychnin bei mir auch eintrete, liess ich mir um 10 h 10 M. vormittags 3 mg Strychnin in die linke Schläfe injicieren. Zunächst trat nicht der gewünschte Erfolg ein; im Gegenteil, mein Auge ward etwas empfindlich gegen Licht, zugleich wurden die Gegenstände weniger scharf und am Nachmittage wie schwankend wahrgenommen. Gegen Abend stellte sich Ziehen im Nacken, dann auch den Rücken entlang ein. Die Unterschiedsempfindlichkeit ward an dem Vormittage kaum gebessert. Zwar ist (vgl. Tafel I und II) der Wert $100\,(1 - p)$ ziemlich klein, dagegen ist der mittlere Fehler der Versuchsreihe recht gross (und zwar vorzugsweise durch die Zunahme des Fehlers der Einstellungen auf „nicht mehr merklich heller"), was man mit der aufgetretenen unangenehmen Empfindlichkeit gegenüber dem Licht zusammenbringen kann. Am Nachmittage war meine Unterschiedsempfindlichkeit dem Wert $100\,(1 - p)$ zufolge unter der Durchschnittsgrösse; dagegen war der mittlere Fehler kleiner als der durchschnittliche Wert für f m. Der Fehler für „nicht mehr merklich heller" ist nicht mehr wesentlich von den andern verschieden (vgl. Tafel II). Soweit eine abends noch angestellte

[35]) A. Nagel, Die Behandlung der Amblyopien und Amaurosen mit Strychnin, Tübingen 1871. — Vgl. Nagel's Jahresbericht über Ophthalm., Bd. 2, 1871, S. 347 ff.

Reihe ein Urteil gestattet, nahm der mittlere Fehler und die Grösse 100 (1 — p) immer mehr ab.

Am folgenden Morgen war nach dem Verschwinden jeglicher Allgemeinerscheinungen sowohl die Grösse 100 (1 — p), als auch vor allem der mittlere Fehler f m bedeutend verkleinert, wenn auch die Besserung nicht den Grad erreichte, wie ihn Dreser erzielt. Eine am selben Vormittage mit dem rechten Auge angestellte Versuchsreihe ergab eine recht schlechte Empfindlichkeit. War auch das, übrigens mit dem linken gleich veranlagte, rechte Auge seit 3 Wochen ausser Übung, so kann man doch in diesem Ergebnis entschieden zugleich die Bestätigung davon erblicken, dass diese Strychnineinspritzung in eine Schläfe nur das gleichseitige Auge beeinflusst[36]).

Dass der Erfolg bei mir hinter dem bei Dreser eingetretenen zurückbleibt, erklärt sich wohl daraus, dass bei meiner besonderen Beobachtungsweise einmal fast ausschliesslich das centrale Sehen zur Geltung kam, während Strychnin ganz vorzugsweise die Peripherie der Netzhaut beeinflusst[37]), ferner aber viel mehr als bei einer Einstellung durch Hin- und Herdrehen des Nikols die Veränderungsempfindlichkeit von Bedeutung war. Bei den Versuchen vom Nachmittage des gleichen Tages bemerkte ich, dass ich nur ziemlich viel langsamer als gewöhnlich einzustellen brauchte, um mit ungewöhnlicher Schärfe die Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen. Es war, als hingen sich die lichtempfindlichen Teile der Netzhaut krampfhaft an den gerade vorhandenen Eindruck des Helligkeitsunterschiedes und folgten mühsamer als sonst der Drehung des Nikols.

---

[36]) von Hippel, Über die Wirkung des Strychnins auf das normale und kranke Auge. 1873. Cit. nach C. Binz, Vorlesungen über Pharmakologie für Ärzte und Studierende. II. Auflage, 1891, S. 273.

[37]) Vgl. Binz a. a. O.

14. Coffeïn.

Ein Gegenstück zum Strychnin stellt das Coffeïn dar. Bei ihm werden wir eine centrale erregende Wirkung, zugleich aber eine peripherische, auf die Bewegungswerkzeuge ausgeübte, anzunehmen haben.

Wir sehen hier in dem einen Versuch mit 0,275 Coffeïn = 0,6 Coffeïno-Natrium benzoicum in Pulver den mittleren Fehler ziemlich beträchtlich gegen den Durchschnitt und auch gegen die betreffende Normalreihe herabgesetzt. Umgekehrt ist $100\,(1 - p)$ nicht merklich kleiner als im Durchschnitt, und ziemlich grösser als in der Normalreihe.

Bei dem zweiten Versuche mit 0,375 Coffeïn (0,6 Coffeïno-Natrium salicyl. in Pulver, gleich nachher warme Milch mit 1 Weck) zeigt sich dagegen gar keine Besserung, eher bleibt die Unterschiedsempfindlichkeit eine Spur hinter den normalen Werten zurück. Dieser Versuch zeigte in anderen Richtungen die Coffeïnwirkung ausgeprägt. 15 Minuten nach Aufnahme des Coffeïns war meine Pulsfrequenz bei ruhigem Stehen von 65 auf 85 gestiegen, dabei war der Puls kräftiger. Nach 65 Minuten: Pulsfrequenz 80, Puls wieder weniger kräftig. Nach 1 Stunde 40 Minuten: 71. Nach 2 Stunden 9 Minuten: 66. Etwa 1 Stunde nach der Aufnahme des Coffeïns trat im Auge das Gefühl besonderer Empfindungsschärfe auf. Die zu der Zeit gemachten Einstellungen würden ein sehr kleines $100\,(1 - p)$ ergeben. Etwa $1^1/_2$ Stunden nach dem Coffeïngenuss hatte sich dieses Gefühl ins Gegenteil verkehrt.

Etwa $^3/_4$ Stunde nach dem Coffeïngenuss trat ein Gefühl von Völle und Eingenommenheit des Kopfes auf. 4 Stunden 40 Minuten nach dem Coffeïngenuss versuchte ich es, binnen 6 Minuten eine Federwage aus aller Kraft zwanzigmal von rechts nach links aus-

einanderzuziehen (ich war solcher körperlicher Anstrengungen in jener Zeit ziemlich entwöhnt): ich erhielt den Mittelwert 30,3 kg. — Um 5 h 55: 29,0 kg. — Am folgenden Tag um 5 h 58: 28,9 kg. Am 13. um 6 h 8: 30,1. Also war trotz der Übung der Wert vom 11. mittags noch nicht erreicht. Diese, wie ich beifügen muss, mit einem leider ziemlich rohen Instrument angestellten Versuche würden dem Ergebnis Kräpelin's entsprechen, welcher die Kraftleistung am Dynameter nach Theegenuss gesteigert fand[38]).

15. Kaffee und Thee.

Im wesentlichen als Coffeïn-Präparate gelten Kaffee und Thee[39]). Bei beiden aber kommen noch ausserdem in den Brenzölen einerseits, den ätherischen Ölen des Thees andrerseits Stoffe hinzu, welche das Gehirn erregen[40]).

Eine Tasse Kaffee aus ca. 16 g Bohnen enthält etwa 0,12, nach anderer Angabe 0,26 Coffeïn. Schwachgebrannter Kaffee enthält am meisten Coffeïn und Brenzöle[41]), indes starkgebrannter etwas weniger, aber dafür viel leichter in den Aufguss übergehendes Coffeïn enthält. An den Brenzölen treten bei stärkerem Rösten weitere Veränderungen auf. Mein schwachgebrannter Kaffee war Ceylon mit Java gemischt (Coffeïngehalt von Ceylonkaffee 1,53%), das Pfund zu 1 M. 90 ₰, mein starkgebrannter Ceylon (Menadomischung), das

[38]) E. Kräpelin, Über die Beeinflussung einfacher psychischer Vorgänge durch einige Arzneimittel. 1892. S. 143.

[39]) Vgl. die Artikel „Kaffee" und „Thee" in Eulenburg's Realencyklopädie der gesammten Heilkunde, II. Aufl. (Löbisch). — Nothnagel u. Rossbach, Arzneimittellehre, VII. Aufl. 1894, S. 696 ff.

[40]) O. Schmiedeberg, Grundriss der Arzneimittellehre, II. Aufl. 1888. S. 41.

[41]) Vgl. Eulenburg's Realencyklopädie a. a. O.

Pfund zu 1 ℳ. 80 ₰. Zu Versuch III wurde mir aus etwa $2^1/_2$, zu Versuch IV aus etwa 3 Lot ein starker Aufguss bereitet. Der Kaffee in Versuch I und V hatte die gewöhnliche mittlere Stärke.

Es zeigt sich durchweg eine nicht unerhebliche Besserung der Empfindlichkeit, in Versuch IV sogar, trotzdem die Pause zwischen beiden Versuchen nur $^3/_4$ Stunde, entschieden zu wenig, betrug. Der starkgebrannte Kaffee scheint ähnlich dem Coffeïn mehr auf eine Verkleinerung des mittleren Fehlers, der schwachgebrannte mehr auf eine Verkleinerung des ebenmerklichen Unterschiedes hinzuwirken. Bei der schwachen, dem Ergebnis der ganzen Versuchsreihe nach ja überhaupt zweifelhaften Wirkung des Coffeïns wird den flüchtigen Brenzölen der Hauptanteil an diesem günstigen Einflusse zuzuschreiben sein. Es spricht dafür auch das Ergebnis meiner Vorversuche, wo ich mehrfach den Genuss von Kaffee, welcher frisch bereitet und sogleich warm getrunken sich bewährt hatte, unwirksam fand, wenn er mehrere Stunden lang vor dem Genusse offen gestanden hatte. Bezüglich des Wirkungsortes kann man vermuten, dass er im Gehirn und nicht im Auge zu suchen ist, da Rumpf[42]) nach Genuss von 0,05—0,1 Coffeïn mit einem Aufguss von 34 g Kaffee (darauf Schlaflosigkeit) den Raumsinn sehr bedeutend (in geringerem Maasse selbst noch am folgenden Morgen) gesteigert fand. Hier ist vielleicht auch der Kaffee mit seinen Brenzölen für den Erfolg verantwortlich zu machen.

Dem Kaffee reiht sich der Thee an, ein von vornherein verschiedenen Verunreinigungen, vor allem durch Rosen, Jasmin, Orangenblüten, ausgesetztes Erzeugnis, zu geschweigen von den eigentlichen Verfälschungen mit

[42]) Verhandlungen des Kongresses für innere Medicin zu Wiesbaden 1883.

Weidenröschen-, Lithospermum-, Weiden-, Kirschen-, Erdbeerblättern u. s. w. Mein Thee war schwarzer, russischer, das Pfund zu 2 ℳ. 40 ₰, von einem besonders starken, nach etwa 14tägiger Aufbewahrung jedoch bereits nicht mehr merklichen Aroma.

Dieser Thee steht entschieden dem schwachgebrannten Kaffee nahe. Er verbesserte meine Empfindlichkeit etwas und zwar vorzugsweise die 100 (1—p). In meinen Vorversuchen, wo ich eine viel bessere und teurere Sorte Thee verwandt hatte, zeigte der Thee sich in seiner zweifelhaften Wirksamkeit dem Coffeïn ganz ähnlich. Es reiht sich dieses Ergebnis demjenigen Kräpelin's[43]) an, „dass der Thee eine wenig energische Wirkung auf die psychischen Vorgänge auszuüben scheint".

Ich bemerke noch, dass meine Zahlen also sämtlich die durchschnittliche Leistung in der Zeit von $^1/_4$—2 Stunden nach dem Genuss des Mittels angeben, also nur starke Beeinflussungen anzeigen. Eine gemeinsame Eigentümlichkeit der Thee-, Kaffee- und Coffeïnwirkung ist es, dass sie stets gerade einen so grossen mittleren Fehler der Einstellung auf „nicht merklich heller" aufwiesen, ebenso wie die Versuchsreihe unmittelbar nach der Strychnineinspritzung*).

16. Alkohol.

Ganz anders als die bisher genannten verhält sich der Alkohol. Er erschwert die Auffassung und Verarbeitung äusserer Eindrücke bei gleichzeitiger kurz-

*) In den Vorversuchen mit Kaffee, Thee, Coffeïn ergab sich in allen vier benutzten Spektralgegenden die gleiche Wirksamkeit des Mittels. Ich weise betreffs der nur bedingten Gültigkeit dieser Vorversuche auf das oben von mir ausgeführte hin (S. 30).

[43]) Kräpelin. Über die Beeinflussung u. s. w. S. 216.

dauernder Erleichterung der Bewegungsauslösung[44]). Bei meinen Versuchen zeigte sich als Folge hiervon eine ziemlich starke Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit.

Vor allem nimmt die Grösse $100\,(1 - p)$, also die Grösse des eben auffassbaren Unterschiedes, zu und zwar schon bei der kleinen Gabe von 150 g. Dagegen verhalten sich die mittleren Fehler auffallend verschieden. In den Versuchen X und XII, in welchen ich eine subjektiv erregende Einwirkung verspürte, waren sie sehr gross, in den Versuchen IX und XI, wo dies nicht bemerklich war, dagegen kaum vergrössert bezw. verkleinert. Vielleicht ist bei diesen letzteren Fällen mit schwächerer Wirkung die Erleichterung der Bewegungsauslösung von Bedeutung, und die Bewegungshemmung der am Nikol drehenden Hand nach Erreichung einer bestimmten Helligkeitsveränderung mehr einer Wahlreaktion als einer Unterscheidungsreaktion zu vergleichen; was meine Naturanlage betrifft, so muss ich mich entschieden den vorzugsweise motorisch reagierenden Menschen zurechnen.

Der Alkohol wurde 5—13 Minuten vor Beginn des Versuches getrunken.

Alles bisher angeführte würde ebenso wie die Versuche von Rumpf, der auch die Tastsphären nach Alkoholgenuss vergrössert fand, auf das Gehirn als Angriffspunkt der Alkoholwirkung hindeuten. Eine periphere Wirkung des Alkohols könnte andererseits wahrscheinlich werden, wenn man das auf dem Boden des chronischen Alkoholismus und Tabakmissbrauches entstehende Leiden der Intoxikationsamblyopie[45]) ins

[44]) Kräpelin a. a. O. S. 181 ff., S. 205, S. 239 ff.

[45]) Grönouw. Gräfe's Archiv für Ophthalm. Bd. 38, 1. 1892. S. 1 ff. W. Uhthoff, Über chronischen Alkoholismus und das Sehorgan. Ebenda, Bd. 32, 4. 1886. S. 95 ff.

Auge fasst. Dieses Leiden, welches hauptsächlich durch Zustandekommen eines negativen centralen Skotoms in erster Linie für Rot und Grün und durch Herabsetzung der Sehschärfe ausgezeichnet ist und bei Enthaltsamkeit sehr häufig, öfters schon in einer Reihe von Tagen zur Heilung kommt, könnte nach den Sektionsbefunden durch eine interstitielle Neuritis des papillomakularen Faserbündels im N. opticus verursacht werden. Es wurde dabei auch an Masson'schen Scheiben die Unterschiedsempfindlichkeit im centralen Sehen herabgesetzt gefunden.

In den hier besprochenen Schädigungen der Helligkeitsempfindung würden freilich kaum die vorausgeworfenen Schatten einer drohenden Neuritis optica zu erblicken sein, sondern wir werden es vorziehen, in der Netzhaut, die ja auch bei jenen Zuständen nicht ganz unbeteiligt sein könnte, eine Schädigung der empfindlichen Teile anzunehmen*).

---

*) Doch wurde in meinen Vorversuchen, in welchen ich von zahlreichen Flaschen leichten Schankbieres fast regelmässig den gleichen Erfolg erhielt, die Grösse 100 (1—p) im Gelb und Blau entschieden stärker vergrössert ($\lambda = 589—577$ und $\lambda = 489—481$), als im Grün und Rot (diese Reihen wurden immer nur wenige Minuten nach Genuss des Bieres begonnen — vergl. mit ihnen die angeführte Reihe nach Selterswasser); dem Säufer verschwinden gerade die Empfindungen des Rot und Grün zuerst.

Ein Vorversuch, den ich und zwar bereits mit meinem Kopfgestell zur Prüfung der Wirkung von 25 g Alcohol. absol., zu 0,5 l mit Wasser verdünnt, machte, ergab unmittelbar eine entsprechende Vergrösserung des Wertes 100 (1—p). Endlich war eine Versuchsperson mit normalen, ausgezeichnet scharfen Augen so freundlich, sich von mir in dem Einstellen des ebenmerklichen Unterschiedes unterweisen zu lassen. 105 ccm Rüdesheimer ergaben einen ganz wenig kleineren Wert 100

(1 — p), als in dem vorher gemachten Normalversuch, was in Anbetracht dessen, dass die Übung in dieser zweiten Reihe eine bedeutende Abnahme desselben voraussehen liess, als Bestätigung aufzufassen ist. Später, nachdem sich dann die Übung einigermaassen hergestellt hatte, zeigte ein erneuter Versuch mit 250 ccm Rüdesheimer (dieselbe leichte Marke wie bei meinem Versuch) eine noch stärkere Wirkung als bei mir.

Anhang. — (Tagebuch.)

25. September Abends 7 h 30—8 h 15 eine Reihe von nur 5 Folgen in Rot, Breite 46° 27″. — 100 (1 — p) = 13,43. — In dieser Breite hatte ich im Rot schon länger keine Reihe mehr gemacht. Die Augen durch einen Nachmittags unternommenen Ausflug gründlich ausgeruht.

26. September. 1. Morgens 9 h 45 — 10 h 40 eine Reihe im Grün, Breite 66° 36′. — 100 (1 — p) = 17,65*. — Mangelhafte Übung in der neuen umständlichen Art, einzustellen. Zu rasch gearbeitet. Schlecht disponiert. Diese Reihe ist überhaupt nicht verwertet. — 2. Vormittags 11 h 11 — 12 h 8 im Grün, Breite 66° 44′ 24″. — 100 (1 — p) = 15,87; fm = 4,89. — In der vorhergegangenen Pause gerechnet. Als Normalreihe in Versuchspaar XIV verwandt. — 3. Nachmittags 3 h 45 — 5 h im Grün, Breite 44° 36′ 45″. — 100 (1 — p) = 10,37*; fm = 2,91. — (Gegen ¾ 2 h 3 Gläser Sekt, die offenbar gar keine Wirkung mehr hatten.) Normalreihe für die folgende, nach etwas Spazierengehen und Genuss von 1½ Tassen schwarzem, starkgebranntem Kaffee um 6 h 18, gemachte Reihe. — 4. Abends 6 h 45 — 7 h 53 im Grün, Breite 43° 48′ 54″. — 100 (1 — p) = 8,12; fm = 2,86. — Gefühl dabei, als ginge das Einstellen viel glatter (Versuchspaar III).

27. September. 1. Morgens 8 h 22 — 9 h eine Reihe von 5 Folgen im Rot, Breite 66° 34′ 12″. — 100 (1 — p) = 15,51. — Kleine durch den Apparat verursachte Störungen. — 2. Vormittags 10 h 45 — ca. 12 h im Rot, Breite 67° 38′ 33″. — 100 (1 — p) = 9,54*; fm = 3,95. Vor dieser Reihe längerer Spaziergang. — 3. Nachmittags 3 h 45 — 4 h 58 im Grün, Breite 44°

2′ 29″. — 100 (1 — p) = 10,64*; fm = 4,75. — Um $^1/_2$2 h eine Gemütserregung. Lampenflamme anfangs etwas ungleichmässig. Normalreihe für die folgende nach etwas Spazierengehen und Genuss von 1$^1/_2$ Tassen sehr starkem, starkgebranntem Kaffee um 5 h 20 angestellte Reihe. — **4.** Abends 5 h 45 — 7 h im Grün, Breite 45° 1′ 3″. — 100 (1 — p) = 10,16; fm = 4,365. — Von 6 h 40 ab Kopfschmerzen, Abspannung. (Versuchspaar IV.)

28. September. **1.** Morgens (nach ziemlich unruhiger Nacht) 8 h 50 — 10 h 3 im Grün, Breite 66° 30′ 36″. — 100 (1 — p) = 8,62*; fm = 5,155. — Neigung zum Einstellen zu wenig merklicher Unterschiede der Helligkeit. — Normalreihe für die folgende, nach einem Spaziergang und Genuss von 350 ccm leichten „Rüdesheimer“ mit 1 Milchbrot um 10 h 55 — 11 h angestellte Reihe. — **2.** Vormittags 11 h 10 — 12 h 12 im Grün, Breite 66° 34′ 39″. — 100 (1 — p) = 13,89; fm = 4,21. — Nichts von einer erregenden Wirkung des Weines verspürt. (Versuchspaar XI.) — **3.** Nachmittags 3 h 15 — 4 h 45 im Grün, Breite 46° 27″. — 100 (1 — p) = 12,00*; fm = 4,18. — Lampenflamme etwas ungleichmässig. Normalreihe für die folgende, nach etwas Spazierengehen und Genuss von 1 grossen Tasse mittelstarkem, starkgebranntem Kaffee, um 5 h 50, angestellte Reihe. — **4.** Abends 6 h — 7 h 28 im Grün, Breite 45° 30′ 14″. — 100 (1 — p) = 10,79; fm = 3,58. — (Versuchspaar V.)

29. September. **1.** Morgens 8 h 25 — 10 h 3 im Rot, Breite 66° 53′ 51″ — 100 (1 — p) = 9,67*; fm = 4,21. Um 7 h 50 2 grosse Tassen mittelstarken, schwachgebrannten Kaffee. Eine unbedeutende Störung vom Apparat aus. Vergleichsreihe in Versuchspaar I. — **2.** Abends 6 h 25 — 8 h im Rot, Breite 69° 21′ 45″; nach Genuss von ein paar Schluck Pilsener um $^3/_4$6 h, und von 340 ccm mittelschwerem 1890er Deidesheimer um 6 h 12, bei gründlich ausgeruhtem Auge. — 100 (1 — p) = 13,46; fm = 5,616. — Sehr deutlich eine erregende Wirkung verspürt. — Vergleichsreihe in Versuchspaar X.

1. Oktober. Morgens 8 h 45—10 h 8 im Grün, Breite 66° 48′ 9″ nach Genuss von 0,6 Coffeïnum natrio-

benzoicum in Pulver (= 0,275 Coffeïn) um 8 h 42. — 100 (1 — p) = 12,65; fm = 3,945. — Vergleichsreihe in Versuchspaar VIII.

2. Oktober. **1.** Morgens 8 h — 9 h 45 im Grün, Breite 66° 48′ 9″ — 100(1—p)=11,92*; fm=4,286 —. Ausgezeichnet disponiert. Normalreihe in Versuchspaar VIII, XII. — **2.** Abends 5 h — 6 h 24 im Grün, Breite 66° 33′ 9″ nach Genuss von 250 ccm 1890er Deidesheimer mit 1 Milchbrot um 4 h 48, bei gut ausgeruhtem Auge. — 100 (1 — p) = 15,17; fm = 6,02. — Erregende Wirkung. — Versuchsreihe in Versuchspaar XII.

3. Oktober. **1.** Morgens um 8 h 5 — 9 h 45 im Rot, Breite 46° 32′ nach Genuss von 150 ccm 1890er Deidesheimer etwa um 8 h. — 100 (1 — p) = 13,75; fm = 3,84. — Keine erregende Wirkung verspürt. — Vergleichsreihe in Versuchspaar IX. — **2.** Abends 6 h 22 - 7 h 53 im Grün, Breite 46° 47′ 14″, nach Genuss von 1½ Tassen starkem Thee mit etwas Gebäck um 6 h — 6 h 10, bei gut ausgeruhten Augen. — 100 (1 — p) = 10,12*; fm = 5,50. — Geringe Störung vom Apparat aus. — Vergleichsreihe in Versuchspaar VI.

4. Oktober. **1.** Morgens 8 h — 9 h 12 im Rot, Breite 70° 13′ 48″ nach nicht ganz guter Nacht. — 100(1 — p) = 15,16; fm = 4,89. — Normalreihe in Versuchspaar I, XIII. — **2.** Vormittags 10 h 21 — 11 h 49 im Rot, Breite 70° 34′ 31″, nachdem um 10 h 10, nach etwas Spazierengehen, 3 mg Strychn. nitr. eingespritzt worden waren. — 100 (1 — p) = 10,69; fm = 5,475. — Gefühl im Auge, als wäre das Gesehene nicht recht scharf. — Vergleichsreihe in Versuchspaar XIII. — **3.** Nachmittags 4 h — 5 h 32 im Grün, Breite 67° 33′ 5″. Das Gesehene scheint im Auge zu schwanken. Nach 5 h Ziehen im Nacken, dann auch im Rücken. — 100 (1 — p) = 13,2; fm = 4,13. — Vergleichsreihe in Versuchspaar XIV. — **4.** Abends 7 h 25 — 8 h 39 im Grün, Breite 66° 49′ 21″. — Hier stellte ich das veränderliche Feld sowohl im rechten, als auch im linken untern Quadranten drehend auf die ebenmerklichen Helligkeitsunterschiede ein; der von mir oben so genannte und näher beschriebene Fehler des Quadranten zeigte auch jetzt eine ziemliche Grösse. Auf Verschwinden des Hellig-

keitsunterschiedes stellte ich bloss im rechten untern Quadranten ein. — 100 (1 — p) = 11,83. — (Versuch XIVa.)

5. Oktober. **1.** Morgens 8 h — 9 h 30 im Grün, Breite 46° 30′. — Keine Allgemeinerscheinungen mehr, auch keine störenden Empfindungen im Auge. Lampenflamme ziemlich ungleichmässig. — 100 (1 — p) = 9,68*; f m = 2,69. — Vergleichsreihe in Versuchspaar XV. — **2.** Vormittags 10 h 42 — 12 h 37 im Grün, Breite 49° 18′. — Mit dem rechten Auge. — 100 (1 — p) = 13,37; f m = 5,39. — Normalreihe in Versuchspaar XV.

6. Oktober. Abends 7 h 30 — 8 h 59 im Rot, Breite 68° 55′ 48″. 58 Stunden nach der Strychninein spritzung. Augen tagüber ziemlich in Anspruch genommen, in der Stunde vorher ausgeruht. — 100 (1 — p) = 12,02; f m = 5,235. — Normalreihe in Versuchspaar X.

9. Oktober. Abends 7 h 13 — 8 h 44 im Grün, Breite 47° 47′ 33″. Das Auge hatte kurz zuvor etwas Blendung erlitten, war sonst gut ausgeruht. Etwas Störung von der Lampe her. — 100 (1 — p) = 13,31; f m = 3,502. — Normalreihe in Versuchspaar VI.

10. Oktober. **1.** Morgens 8 h 12 — 10 h im Rot, Breite 44° 36′ 45″. Gut disponiert. Etwa $^1/_2$ Stunde vorher heisse Milch mit Weck, wie alle Morgen. — 100 (1 — p) = 10,65; f m = 3,226. — Normalreihe in Versuchspaar II, IX. — **2.** Nachmittags 4 h 9 — 5 h 51 im Grün, Breite 46° 40′ 30″. Um 3 h 44 etwa 150 ccm eines Infuses von 200,0 : 15 g schwarzen Thee, das ich gut hatte ziehen lassen. Lampenflamme ziemlich ungleichmässig. — 100 (1 — p) = 10,85; f m = 3,568. — Vergleichsreihe in Versuchspaar VII (als Normalwerte sind in VII die Mittel aus den 3 Normalreihen von III, IV, V eingesetzt).

11. Oktober. Morgens 8 h 10 — 9 h 54 in Rot, Breite 41° 44′ 42″. — Um 7 h 45 0,6 Coffeïnum natriosalicylicum = 0,375 Coffeïn in Pulver, dazu das gewöhnliche Frühstück aus warmer Milch und Weck. Von 8 h 20 ab eingenommener Kopf. — 100 (1 — p) = 11,80; f m = 3,816. Vergleichsreihe in Versuchspaar II.

* Bei den mit * bezeichneten Werten für 100 (1 — p) ist die S. 43 genannte Verbesserung vorgenommen.

Tafel I.

Nummer des Versuchs-paares	Normalbeobachtung			Beobachtung zur Prüfung auf eine Arzneiwirkung			Geprüftes Mittel
	Reizstärke des Vergleichs-lichts in %	f m in %	100 (1 − p) in %	100 (1 − p) in %	f m in %	Reizstärke des Vergleichs-lichts in %	Arzneistoffe
	c = Linie (Rot). λ = 657 — 640.						
I.	9,21	**4,887**	**15,16**	**9,67**	**4,212**	12,77	schwachgebr. Kaffee
II.	47,35	**3,226**	**10,65**	**11,80**	**3,816**	52,47	0,375 Coffeïn
	Gelb-Grün. λ = 562 — 552.						
III.	49,37	**2,91**	**10,37**	**8,12**	**2,86**	48,78	schwachgebr. Kaffee
IV.	48,37	**4,75**	**10,64**	**10,16**	**4,365**	46,62	starkgebr. Kaffee
V.	44,85	**4,18**	**12,00**	**10,79**	**3,58**	45,75	desgl.
VI.	42,66	**3,502**	**13,31**	**10,12**	**5,502**	43,47	schwarzer Thee
VII.	(47,53	**3,947**	**11,00**)	**10,85**	**3,568**	43,66	desgl.
VIII.	12,87	**4,286**	**11,92**	**12,65**	**3,945**	13,22	0,275 Coffeïn
	c = Linie (Rot). λ = 657 — 640.						
IX.	47,35	**3,226**	**10,65**	**13,75**	**3,842**	43,92	150 ccm Wein
X.	10,53	**5,235**	**12,02**	**13,46**	**5,616**	10,08	340 ccm Wein
	Gelb-Grün. λ = 562 — 552.						
XI.	13,22	**5,155**	**8,62**	**13,89**	**4,21**	13,14	350 ccm Wein
XII.	12,87	**4,286**	**11,92**	**15,17**	**6,018**	13,21	250 ccm Wein
	c = Linie (Rot). λ = 657 — 640.						
XIII.	9,21	**4,887**	**15,16**	**10,69**	**5,475**	8,87	3 mg Strychnin in die linke Schläfe
	Gelb-Grün. λ = 562 — 552.						
XIV.	12,95	**4,89**	**15,87**	**13,20**	**4,13**	12,03	
XIVa.	—	—	—	[**11,83**	—	12,86]	
XV.	[39,04	**5,39**	**13,37**]	**9,68**	**2,69**	43,94	

Tafel II.

Nummer des Versuchspaares (vgl. Taf. I)	Mittlere Breite der viererlei Einstellungen einer Versuchsreihe	**Normalbeobachtungen.** Mittlerer Fehler der einzelnen Einstellungen in °			
		auf ebenmerklich zu hell	auf ebenmerklich zu dunkel	auf nicht mehr merklich zu hell	auf nicht mehr merklich zu dunkel
					c = Linie (Rot).
I.	70° 13′ 48″	0,468 [0,49]	0,497 [0,48]	0,581 [0,55]	0.490 [0,50]
II.	44° 36′ 45″	1,027 [0,99]	0,861 [0,86]	1,232 [1,30]	0,631 [0,65]
					Gelb - Grün.
III.	43° 29′ 20″	0,794 [0,76]	0,522 [0,46]	0,927 [0,93]	1,29 [1,18]
IV.	44° 2′ 29″	2,269 [2,21]	0,782 [0,775]	1,215 [1,15]	1,427 [1,40]
V.	46°—27″	1,250 [1,21]	0,640* [0,60]	1,074 [0,96]	1,262 [1,28]
VI.	47° 47′ 33″	0,912 [0.96]	0,838 [0,84]	1,147 [1,11]	0,758 [0,76]
VII.	(44° 30′ 45″	1,438	0,648	1,072	1,326)
VIII.	66° 48′ 9″	0,477 [0,51]	0,486 [0,52]	0,523 [0,52]	0,640 [0,60]
					c = Linie (Rot).
IX.	44° 36′ 45″	1,027 [0,99]	0,861 [0,86]	1,232 [1,30]	0,631 [0,65]
X.	68° 55′ 48″	0,531 [0,51]	0,611 [0,65]	0,704 [0,72]	0,496 [0,54]
					Gelb - Grün.
XI.	66° 30′ 36″	0,941 [0,86]	0,563 [0,563]	0,355* [0,35]	0,740 [0,72]
XII.	66° 48′ 9″	0,477 [0,51]	0,486 [0,52]	0,523 [0,52]	0,640 [0,60]
					c = Linie (Rot)
XIII.	70° 13′ 48″	0,468 [0,49]	0,497 [0,48]	0,581 [0,55]	0,490 [0,50]
					Gelb - Grün.
XIV.	66° 44′ 24″	0,419** [0,35]	0,789 [0,80]	0,688 [0,65]	0,510 [0,52]
XIVa.	—	—	—	—	—
XV.	[49° 18′ —	1,627 [1,67]	1,08 [1,14]	1,480 [1,42]	1,143 [1,25]]†

† Rechtes Auge.

Beobachtungen nach Einwirkung eines Mittels. Mittlerer Fehler der einzelnen Einstellungen in °				Mittlere Breite der viererlei Einstellungen einer Versuchsreihe	Arzneieinwirkung
auf nicht mehr merklich zu dunkel	auf nicht mehr merklich zu hell	auf ebenmerklich zu dunkel	auf ebenmerklich zu hell		
$\lambda = 657 - 640$.					
0,232 [0,21]	0,814 [0,79]	0,350 [0,36]	0,679 [0,69]	66° 53′ 51″	schwachgebrannter Kaffee
1,328 [1,36]	1,9425 [1,88]	0,682 [0,73]	0,939 [0,95]	41° 44′ 42″	0,375 Coffeïn
$\lambda = 562 - 552$.					
0,903 [0,93]	1,082 [1,06]	0,97 [0,92]	0,445 [0,43]	43° 48′ 54″	schwachgebrannter Kaffee
1,268 [1,23]	1,023 [1,08]	1,405 [1,35]	1,275 [1,32]	45° 1′ 3″	starkgebrannter Kaffee
0,502 [0,45]	1,078 [1,04]	1,412 [1,44]	1,048 [1,06]	45° 30′ 14″	starkgebrannter Kaffee
1,412 [1,44]	1,928 [1,85]	1,361 [1,31]	1,232 [1,29]	46° 47′ 14″	schwarzer Thee
0,943 [0,95]	1,047 [1,043]	0,988 [0,88]	0,879 [0,90]	46° 40′ 30″	schwarzer Thee
0,367 [0,39]	0,676 [0,66]	0,397 [0,42]	0,541 [0,56]	66° 30′ 45″	0,275 Coffeïn
$\lambda = 657 - 640$.					
1,195 [1,14]	1,374 [1,29]	0,736 [0,79]	0,953 [1,00]	46° 32′ —	150 ccm Deidesheimer
0,429 [0,44]	0,737 [0,67]	0,544 [0,55]	0,744** [0,63]	69° 21′ 48″	340 ccm Deidesheimer
$\lambda = 562 - 552$.					
0,548 [0,59]	0,449 [0,41]	0,646 [0,65]	0,453 [0,45]	66° 34′ 39″	350 ccm Rüdesheimer
0,672 [0,66]	0,775 [0,72]	0,607 [0,63]	0,975 [0,89]	66° 33′ 9″	250 ccm Deidesheimer
$\lambda = 657 - 640$.					
0,485 [0,48]	0,901 [0,96]	0,330 (0,32]	0,519 [0,48]	70° 34′ 31″	3 mg Strychninnitrat i. d. l. Schläfe
$\lambda = 562 - 552$.					
0,544 [0,52]	0,570 [0,51]	0,429 [0,43]	0,430 [0,43]	67° 33′ 5″	die gleiche Einwirkung
[0,181]	[0,426]	[0,375]	[0,35]	66° 49′ 21″	desgleichen
0,883 [0,82]	0,924 [0,96]	0,412 [0,41]	0,711 [0,65]	46° 30′ —″	desgl. am folgenden Morgen.